

[illegible]

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
„КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”

ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ
КАФЕДРА ПРОМИЛОВОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ

До захисту допущено

Завідувач кафедри

Ю.С. Ямненко

(підпис)

(ініціали, прізвище)

”_____” _____ 2019р.

Дипломний проект
на здобуття ступеня бакалавра

з напрямку підготовки 6.050802 Електронні пристрої та системи
(код та назва напрямку підготовки або спеціальності)

на тему **контролер заряду акумулятора від фотобатареї**

Виконав: студент 4 курсу, групи ДС-51

Бахмат Євгенія Леонідівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Керівник **проф., д.т.н., проф. Ромашко В. Я.**

(посада, вчене звання, науковий ступень, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультанти: Технічний розділ

(назва розділу)

(вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент **ст. викл. Бевза О.М.**

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань

Студент _____

(підпис)

Київ – 2019 року

Теоретичне креслення

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Технічний			

7. Дата видачі завдання 22.05.2019р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Строки виконання етапів проекту	Примітка
1	Огляд видів акумуляторів та їх порівняння	04.02 – 15.03	
2	Огляд режимів і стадій заряджання акумулятора	16.03 – 27.03	
3	Аналіз пристроїв заряджання акумулятора	28.03 – 20.04	
4	Аналіз контролерів заряду-розряду акумулятора	21.04 – 01.05	
5	Огляд основних параметрів, характеристик та режимів роботи сонячної панелі	02.05 – 12.05	
6	Розробка структурної схеми контролера заряду акумулятора від сонячної панелі	13.05 – 20.05	
7	Вибір основних елементів схеми	21.05 - 27.05	
8	Розрахунок основних елементів схеми	28.05 - 06.06	
9	Підготовка до захисту ДП	07.06 – 17.06	
10	Захист ДП	18.06 - 20.06	

Студент

(підпис)_____
(ініціали, прізвище)

Керівник проекту

(підпис)_____
(ініціали, прізвище)

АНОТАЦІЯ

В бакалаврській роботі розроблена схема заряджання акумулятора від сонячної панелі з урахуванням особливостей роботи сонячної панелі протягом дня. Схема реалізує метод заряджання "постійна напруга/ постійний струм". Для розробки було проаналізовано існуючі схеми заряджання акумуляторів та контролерів заряду, різні види акумуляторів та способи їх заряджання, особливості роботи сонячних панелей. Перевагами розробленої схеми є простота, доступність елементів та їх дешевизна. У роботі представлена принципова схема, елементи якої можна розрахувати для будь-якого акумулятора невеликої ємності.

ANOTATION

In the bachelor work, a scheme of charging the battery from the solar panel has been developed. It take into account the features of the solar panel during the day. The scheme implements the method of charging "constant voltage / constant current". The existing charging schemes and controllers, battery types, charging methods, features the work of solar panels were analyzed. The advantages of the developed scheme are the simplicity, availability of the elements and their cheapness. The article presents a schematic diagram whose elements can calculated of any battery.

ЗМІСТ

	СТ.
ВСТУП.....	4
1. АКУМУЛЯТОРИ І СПОСОБИ ЇХ ЗАРЯДЖАННЯ	5
1.1 Принцип дії та характеристики акумуляторів	5
1.2 Режими заряджання акумуляторів	13
1.3 Пристрої для заряджання акумуляторів	19
1.4 Пристрої контролю заряду та розряду акумуляторів.....	24
2. КОНТРОЛЕР ЗАРЯДУ АКУМУЛЯТОРА ВІД СОНЯЧНОЇ ПАНЕЛІ.....	36
2.1. Сонячні батареї. Їх характеристики та режими роботи.	36
2.2. Розробка пристрою контролю заряду від сонячної батареї	44
3. ВИБІР ТА РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ СХЕМИ.....	47
ВИСНОВКИ	59
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	60

					ДС51.510.101.001.ПЗ								
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата	Контролер заряду акумулятора від фотобатареї Пояснювальна записка				Літера	Лист	Листів		
Розроб.	Бахмат Є.Л.											3	62
Перевір.	Ромашко В.Я.								НТУУ «КПІ» ФЕЛ				
Н.контр.	Батрак Л.М.								каф. ПЕ				
Затверд.	Ромашко В.Я.												

ВСТУП

Для задоволення вимог споживачів енергії необхідні джерела енергії. Попит на енергію в усьому світі за останні 20 років збільшився на 40%. Зокрема, збільшився попит на енергію відновлювальних джерел. Хоча шкідливі наслідки використання вуглеводневої енергії стають все більш очевидними, понад 85% світової енергетики все ще виробляється спалюванням викопного палива. [1]

Згідно з міжнародною практикою, до нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії відносять: енергію Сонця; енергію вітру; енергію водних потоків на суші (малопотужні гідроелектростанції); біомасу (відходи сільського господарства, лісового комплексу; водорості; торф); геотермальну енергію (гідротермальні і парогідротермальні джерела; сухі, глибоко залягаючі гірські породи); енергію морів і океанів (припливи і відливи, течії, температурний градієнт, градієнт солоності); низькопотенційну теплову енергію. [2] Згідно з даними REN21- мережею з політики в області відновлювальних джерел енергії - найефективнішими у виробленні енергії є сонячні електростанції прямого, непрямого перетворення та вітрові електростанції. Одним з перспективних та екологічно чистих напрямів розвитку та впровадження відновлюваної енергетики в Україні – є сонячна електроенергетика. Середньорічна кількість електроенергії, яку отримують регіони країни від використання енергії сонця, становить приблизно *1200 кВт* год. на квадратний метр. [3]

Сонячна енергія мінлива і, в деякій мірі, непередбачувана, хоча потужність сонячної енергії при деяких обставинах відносно добре корелює з попитом на енергію. Акумуляування сонячної енергії є однією з можливостей для поліпшення регулювання вихідної енергії систем.

					ДС51.510.101.001.ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. АКУМУЛЯТОРИ І СПОСОБИ ЇХ ЗАРЯДЖАННЯ

1.1 Принцип дії та характеристики акумуляторів

Акумулятор - це пристрій, що використовується для накопичення електричної енергії. Електричний акумулятор, або акумуляторна батарея, містить електричну комірку або ряд електричних комірок, що зберігають енергію, яку можна перетворити в електричну. На відміну від звичайної батареї акумуляторна здатна перезаряджатися. Комірка складається з негативного електрода, електроліту і позитивного електрода. Накопичення енергії в комірці здійснюється під час протікання окисно-відновних хімічних реакцій на електродах. Під час процесу розрядження відбуваються зворотні процеси [4], [5]. У табл.1.1 наведена класифікація акумуляторів.

Таблиця 1.1

Параметр	Види акумуляторів
Тип електроліту	<ul style="list-style-type: none">• з рідким (кислотним) електролітом• з лужним електролітом• з твердим (абсорбованим) електролітом
Необхідність обслуговування і тип конструкції	<ul style="list-style-type: none">• відкритого типу<ul style="list-style-type: none">- обслуговувальні- малообслуговувальні• закритого типу (герметизовані)<ul style="list-style-type: none">- необслуговувальні
Спосіб утримання електродів	<ul style="list-style-type: none">• ламельні• безламельні
Режим експлуатації	<ul style="list-style-type: none">• для роботи в буферному режимі• для роботи в циклічному режимі• для роботи в змішаному режимі
Призначення	<ul style="list-style-type: none">• Стаціонарні для живлення малогабаритних та стаціонарних пристроїв• Стартерні для запуску двигунів внутрішнього згоряння• Тягові для живлення електротранспорту

Найпоширені за типом електроліту види електричних акумуляторів наведено на рис. 1.2 та 1.3. [6], [7], [8].

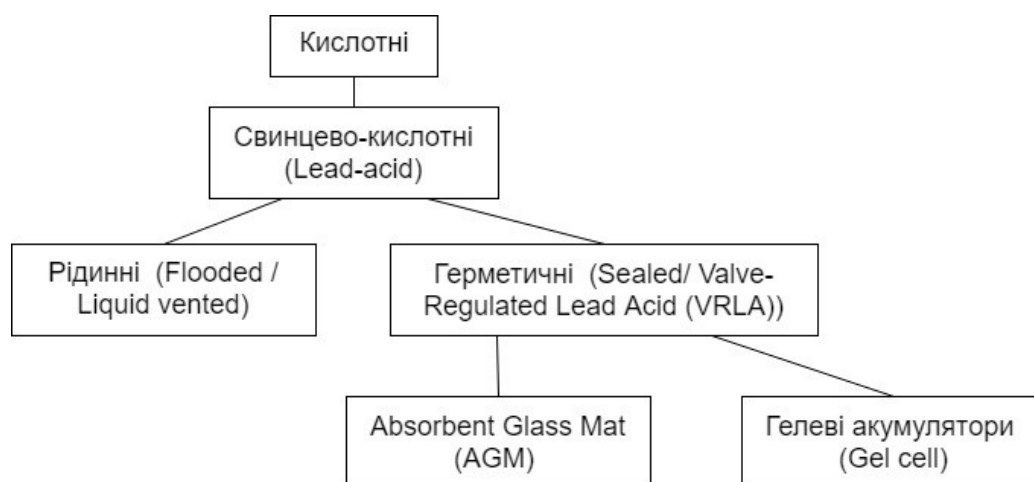


Рис. 1.1. Класифікація кислотних акумуляторів

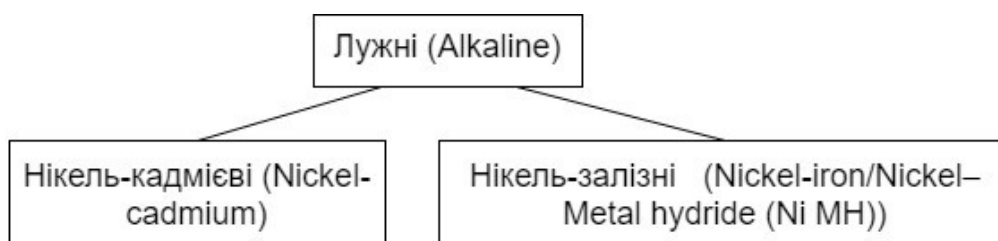


Рис. 1.2. Класифікація лужних акумуляторів

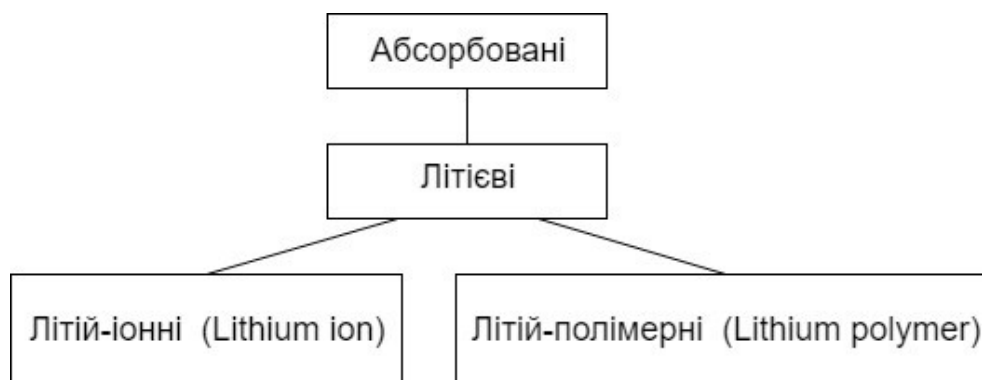


Рис. 1.3. Класифікація абсорбованих акумуляторів

Розглянемо детальніше кожен із видів.

Свинцево-кислотні акумулятори

Основа роботи хімічних джерел живлення заснована на взаємодії металів і рідини - оборотної реакції, яка виникає при замиканні контактів позитивних і негативних пластин. Свинцево-кислотні акумулятори, як зрозуміло з назви, складаються зі свинцю і кислоти, де позитивно зарядженими пластинами є свинець, а негативно зарядженими - оксид свинцю. Якщо підключити до двох пластин лампочку, ланцюг замкнеться і виникне електричний струм (рух електронів), а всередині елемента виникне хімічна реакція (рис.1.4). Зокрема, відбудеться корозія пластин батареї, свинець покриється сульфатом свинцю. Таким чином, в процесі розряду акумулятора на всіх пластинах буде утворюватися наліт з сульфату свинцю.

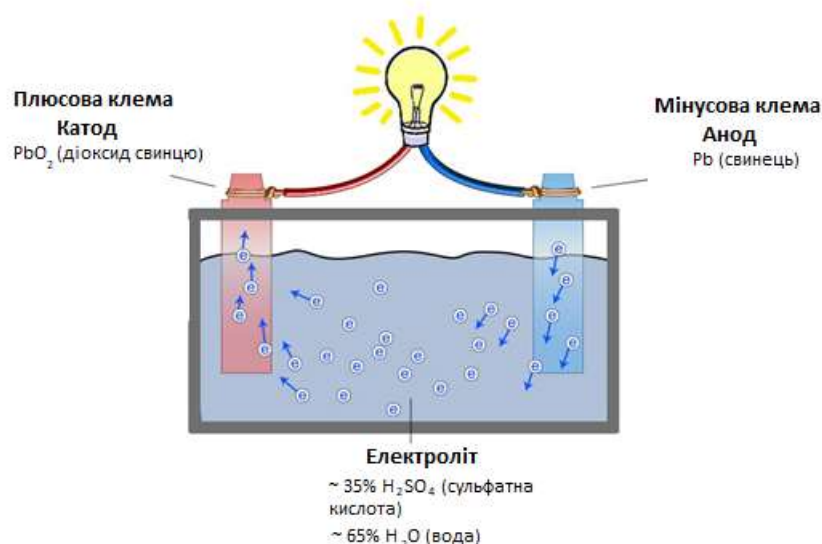


Рис. 1.4. Електрохімічна схема свинцево-кислотного акумулятора

Коли акумулятор повністю розряджений, його пластини покриті однаковим металом - сульфатом свинцю і мають практично однаковий заряд щодо рідини, відповідно, напруга батареї дуже низька. Якщо до відповідних клем батареї підключити зарядний пристрій і включити його, струм буде протікати в кислоті в зворотному напрямку.

Струм буде викликати хімічну реакцію, молекули кислоти - розщеплюватися і за рахунок цієї реакції буде відбуватися видалення сульфату

					ДС51.510.101.001.ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

свинцю з позитивних і негативних пластин батареї. У фінальній стадії зарядного процесу пластини матимуть первозданний вигляд: свинець і оксид свинцю, що дозволить їм знову отримати різний заряд, тобто батарея буде повністю заряджена.

Рідинні акумулятори свинцево-кислотні, як правило, є дешевшими, але потребують додавання дистильованої води, що втрачена у процесі заряджання, як мінімум, кожного місяця. Сьогодні це найбільш часто використовуваний тип акумуляторів для систем відновлюваної енергетики. У рідинних акумуляторах електроди повністю занурені в рідкий електроліт.

Герметичні свинцево-кислотні акумулятори найчастіше використовуються в мережевих системах та не потребують періодичного обслуговування (рис.1.5).

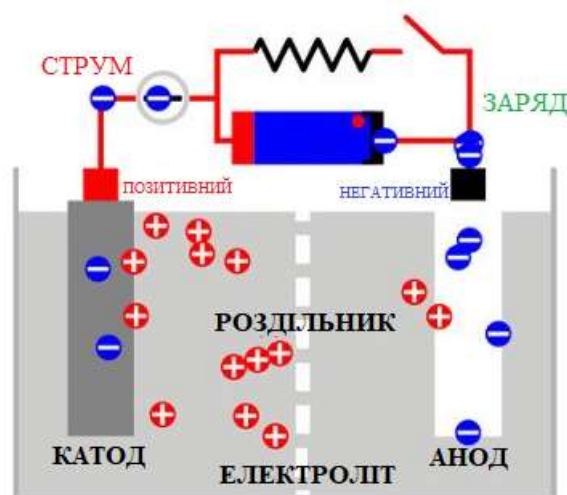


Рис. 1.5. Електрохімічна схема свинцево-кислотного акумулятора VRLA

Ці батареї мають іммобілізовану форму електроліту. Запечатані свинцево-кислотні акумулятори, що не потребують технічного обслуговування, також називаються акумуляторами з клапаном що регулюється свинцевою кислотою (Valve-Regulated Lead Acid (VRLA)) або регульованими свинцево-кислотними акумуляторами.

Герметичні акумулятори поділяються на два види:

- гелеподібний тип електроліту
- Absorbent Glass Mat (AGM).

Герметичні акумулятори мають менше проблем із вивільненням електроліту порівняно з рідинними акумуляторами. Під час процесу зарядки газу водню і кисню утворюються з води внаслідок хімічних реакцій на негативних і позитивних пластинах. Ці газу рекомбінують з утворенням води, тому виключається потреба у воді.

AGM свинцево-кислотні батареї набули широкої популярності, так як вони не потребують технічного обслуговування і особливо підходять для мережевих систем, де акумулятори зазвичай використовуються при повному стані заряду. Сучасні свинцево-кислотні акумулятори типу AGM мають абсорбований електроліт (не рідкий) і скловолоконні розділові сепаратори, які значно краще зберігають свинцеві пластини, не даючи їм руйнуватися. Таке рішення дозволило значно знизити час заряду AGM батарей, оскільки зарядний струм може досягати 20-25%, рідше 30% від номінальної ємності.

Гелеві батареї є стійкими до впливу низьких температур, але на них погано впливає перезарядження. Додавання діоксиду кремнію до електроліту утворює теплу рідину, яка додається до батареї і стає гелем після охолодження. Водень і кисень, що утворюються в процесі зарядки, транспортуються між позитивними і негативними пластинами через тріщини і порожнечі в гелеподібному електроліті під час процесу заряду і розряду.

Лужні акумулятори

Через їх відносно високу вартість, лужні акумуляторні батареї рекомендують використовувати для деяких комерційних або промислових цілей, що вимагають їхніх переваг перед свинцево-кислотними акумуляторами. До таких переваг можна віднести стійкість до замерзання або

					ДС51.510.101.001.ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

високих температур, низькі вимоги до обслуговування, а також здатність повністю розряджатися або перезаряджатися без пошкоджень.

У нікель-кадмієвому (Ni-Cd) акумуляторі позитивний електрод, що складається з кадмію, і негативний електрод з гідроксиду нікелю розділені нейлоновими сепараторами, зануреними в електроліт з гідроксиду калію, розміщеного в корпусі з нержавіючої сталі. Такий акумулятор має більш тривалий термін служби і температуру, стійкіший у порівнянні зі свинцево-кислотними акумуляторами. Ефект пам'яті знижує ємність акумулятора, коли акумулятор працює довго. Ефект пам'яті - це процес запам'ятовування глибини розрядження в минулому. Якщо батарея розряджається до 25% повторно, її стан запам'ятовується, і якщо розряд перевищує 25%, напруга в комірці зменшиться (рис.1.6). Щоб відновити повну ємність батареї, її слід повністю розрядити.

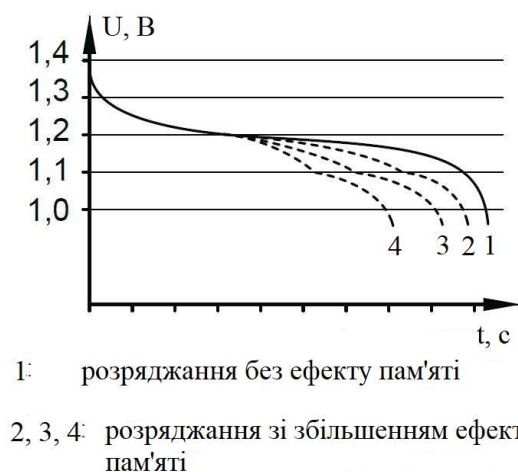


Рис.1.6. Часова діаграма розрядження лужного акумулятора

Нікель-металгідридні (Ni-MH) акумулятори - це різновид акумуляторів Ni-Cd з високою щільністю енергії. Анод складається з гідриду металу замість кадмію. Він має менший ефект пам'яті і забезпечує високу пікову потужність. Такі акумулятори мають більшу вартість, ніж акумулятори Ni-Cd, а перезарядка легко пошкоджує батарею. [8]

					ДС51.510.101.001.ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Літієві акумулятори

Літієвий електрод вступає в реакцію з електролітом і створює плівку пасивації при кожній операції заряду-розряду (рис. 1.7). Це компенсується використанням товстих електродів. У зв'язку з цим вартість літій-іонного акумулятора вище, ніж у батарей Ni-Cd. Подальше перезарядження пошкоджує акумулятор. Такі акумулятори є компактними та мають малу вагу і велику швидкість перезарядження.

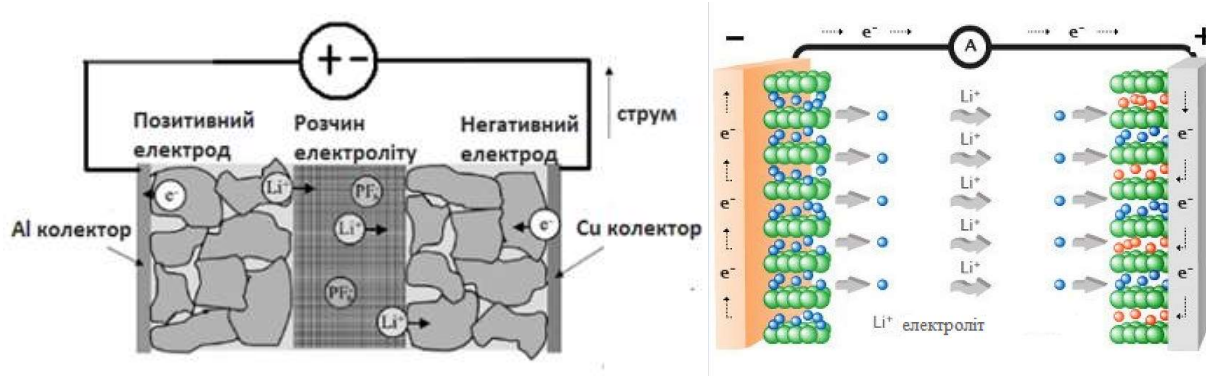


Рис.1.7. Електрохімічна схема літій-іонного акумулятора

Деякі літій-іонні батареї мають твердий електроліт, який служить як іонним провідним середовищем, так і електроізоляційним сепаратором. Ці літій-іонні батареї іноді називають літій-іонними полімерними батареями або літій-полімерними батареями. Однак, незалежно від того, який електроліт (рідкий або твердий) використовується в батареї, заряджені частинки, які вбудовуються в батарею, є іонами Li^+ , і тому вони зазвичай називаються літій-іонними акумуляторними батареями. [6], [7], [9], [10]

Літій-полімерні акумулятори мають трохи більший показник питомої енергії, але вартість мають на 10 - 30% вище, ніж літій-іонні. [5], [6],[7]

В табл. 1.2 наведено порівняння характеристик основних типів акумуляторів.

Таблиця 1.2

Характеристика	Тип акумулятора		
	Свинцево-кислотний	Нікелевий	Літійсвий
Номінальна напруга на 1 комірку	2.1 В	1.2 В	3.7 В
Питома енергія	25 - 35 Вт / кг	65 – 75 Вт / кг	100-150 Вт / кг
Кількість циклів заряду-розряду	1000 циклів	700 циклів	1000 циклів
Мінімальний час заряджання	8 год	1 год	3 год
Коефіцієнт корисної дії	до 0.85	до 0.8	До 0.95
Безпека експлуатації	середня	висока	низька
Вартість	низька	середня	висока
Переваги	низька вартість, висока ефективність	висока питома енергія, низький глибинний розряд, екологічність	висока питома енергія, тривалий термін служби
Недоліки	відносно низький термін служби	висока вартість, високий рівень саморозрядки і низький рівень ефективності	висока вартість, низька безпека

Кожен акумулятор має такі характеристики як номінальна напруга і ємність.

Номінальною напругою називається напруга на клеммах акумулятора в робочому стані. Вона може бути рівна 3 В, 6 В, 12 В, 24 В і більше.

Ємність акумулятора представляється в ампер-годинах. Вона визначає запас енергії, який може жити навантаження з певною силою струму протягом певного часу [7] .

$$E = I \cdot t .$$

Для систем, підключених до мережі, акумулятори зазвичай мають ємність для забезпечення роботи протягом відносно коротких періодів часу, у середньому 8 годин. Ємність може, однак, змінюватися залежно від конкретних потреб об'єкта і тривалості очікуваних відключень електроенергії.

Енергетична ємність – енергія, що накопичена в повністю зарядженому акумуляторі; визначається в ват-годинах:

$$W = E \cdot U = I \cdot t \cdot U .$$

Від цих характеристик безпосередньо залежить характер навантаження при розряджанні акумулятора та вимоги до заряджання акумулятора. [5], [9]

Отже, при виборі акумулятора опираються на його основні характеристики: напругу і ємність, та на тип акумулятора, адже акумулятори різних типів потребують різних умов роботи. Умови роботи визначаються джерелом живлення акумулятора та навантаженням, для якого джерелом живлення є акумулятор.

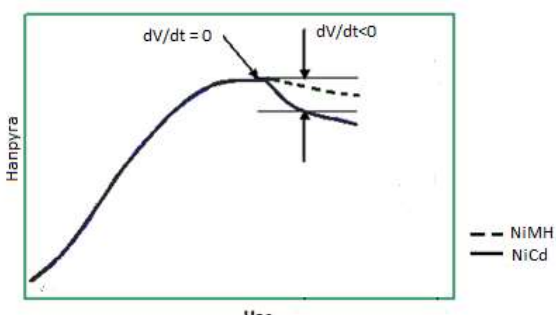
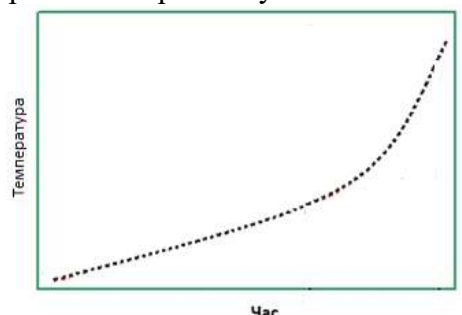
1.2 Режими заряджання акумулятора

Заряджання акумулятора - це процес накопичення енергії акумулятором. Акумулятори зберігають величезну кількість енергії завдяки їх електрохімічному складу. Ця енергія надходить від акумулятора до навантаження в процесі розряджання акумулятора; і від зарядного пристрою до акумулятору в процесі заряджання.

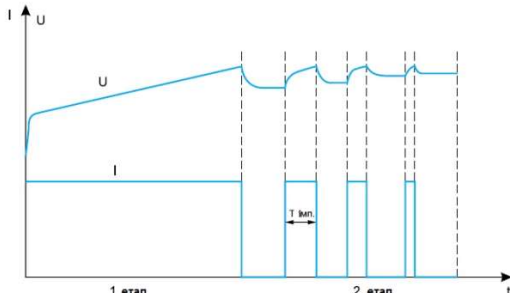
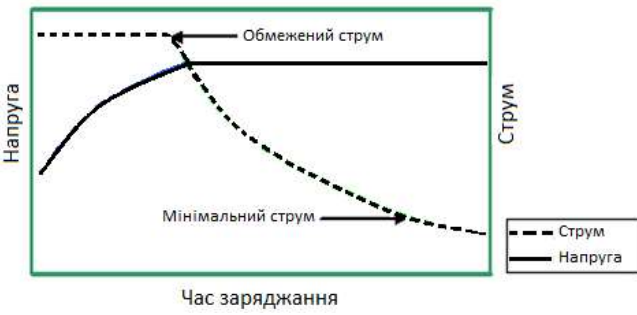
У табл. 1.2 представлені режими заряджання акумуляторів, які застосовують найчастіше. [4], [6], [12].

					ДС51.510.101.001.ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.3

Режим заряджання	Опис режиму
Повільний заряд	
Напівпостійний струм	Простий і економічний метод. Низький струм, таким чином, не генерує тепло, але є повільним. Такий тип підходить для акумуляторів типу Ni-Cd.
Управління зарядом за таймером	Простий і економічний метод. Більш надійний, ніж напівпостійний струм. Використовує мікросхему таймера. Підходить для акумуляторів Ni-Cd та Ni-MH.
Швидкий заряд	
Відсікання заряду при негативній дельті	<p>Це найпопулярніший метод швидкої зарядки для Ni-Cd акумуляторів. Свинцево-кислотні батареї та літєві акумулятори не демонструють падіння напруги при повному заряджанні, отже, цей спосіб зарядки не підходить для цих типів.</p> 
dT/dt режим заряджання	<p>Ni-MH акумулятори не демонструють такого вираженого падіння напруги, як Ni-Cd акумулятори, тому метод відключення заряджання при негативній дельті не є надійним для них. Замість цього зарядний пристрій відчуває швидкість збільшення температури осередку за одиницю часу. Коли досягається заздалегідь визначена швидкість, прискорений заряд припиняється і метод заряду перемикається на струменевий заряд. Цей спосіб є більш дорогим, але дозволяє уникнути перезарядки і забезпечує більш тривалий термін служби.</p> 

Таблиця 1.3(продовження)

Імпульсне заряджання	<p>Являє собою заряджання акумуляторної батареї імпульсами струму з постійною амплітудою, між якими є короткі паузи, для уникнення перезаряджання і нагрівання. Реалізація алгоритму потребує мікропроцесорного управління. Метод підходить для літєвий та свинцево-кислотних акумуляторів.</p> 
Режим постійної напруги (constant voltage, CV)	<p>Зарядний пристрій вимикається або перемикається на струменевий заряд при досягненні заданої напруги. Необхідно поєднувати з датчиками температури в батареї, щоб уникнути перезарядки. Метод підходить для літєвих та свинцево-кислотних акумуляторів</p>
Режим постійного струму (constant current, CC)	<p>Після досягнення заданої напруги швидкий струм заряду поступово зменшується за рахунок зменшення напруги живлення, а потім перемикається на струменевий заряд. Підходить для свинцево-кислотних акумуляторів, літєвих акумуляторів та дозволяє безпечно досягти більш високого рівня заряду.</p>
Режим постійного струму з постійною напругою (CC / CV)	<p>Об'єднує попередні два методи. Використовується для зарядки літєвих акумуляторів та інших акумуляторів, які можуть бути уразливі до перезаряджання.</p> 

Зазвичай заряджання літєвих та свинцево-кислотних акумуляторів відбувається у режимі постійного струму з постійною напругою. Акумулятори на основі нікелю, зазвичай, заряджаються схожим чином. Вони також заряджаються постійним струмом, але дозволено вільно підвищувати напругу.

Визначення повного заряду відбувається шляхом спостереження невеликого падіння напруги після постійного зростання, тобто при негативній дельті. [11], [13], [14]

Стадії процесу заряджання

Стадія основного заряду (Bulk) включає близько 80% підживлення, при цьому струм зарядного пристрою підтримується постійним (у заряднику постійного струму), а напруга збільшується. Зарядний пристрій належного розміру дасть акумулятору стільки струму, скільки він може прийняти, але не більше 25% від номінальної ємності акумулятора в Ампер-годинах, до тих пір, поки напруга акумулятора не досягне максимального рівня.

Етап поглинання (Absorption) (приблизно 20%, що залишилися) триває, поки зарядний пристрій тримає напругу на певному рівні і зменшує струм до повного заряджання акумулятора. Этап триває мінімум 4 години.

На етапі зберігання (Float) напруга заряду зменшується і підтримується постійною, а струм зменшується до менш ніж 1% від ємності акумулятора. Цей режим можна використовувати для безперервної підтримки повністю зарядженої батареї.

Вирівнювання (Equalization) по суті є контрольованим зарядом. При вирівнюванні напруга піднімається вище типової напруги для зарядки (від 15 до 16 В у 12-вольтовій системі) і переходить у стадію газовиділення і зберігається протягом певного (але обмеженого) періоду. Це підсилює хімічні процеси у всій батареї, "вирівнюючи" міцність електроліту, і збиває будь-які вільні сульфати, які можуть бути на пластинах батареї. Цей етап є більш важливим для свинцево-кислотних акумуляторів, особливо у випадку заряджання кількох батарей одним зарядним пристроєм. Режим вирівнювання може тривати від декількох годин до 24 годин залежно від обставин.

Етап відновлення (Recovery). Цей крок необхідний для вирішення важких ситуацій, пов'язаних з глибоким розрядженням. Ці проблеми можуть

					ДС51.510.101.001.ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

спричиняти як свинцеві, так і літєві батареї. Для сімейства зарядних пристроїв свинцево-кислотних акумуляторів етап відновлення є додатковим. Для сімейства літій-іонних зарядних пристроїв функція відновлення є більш важливою і чітко визначеною, оскільки літій-іонні батареї є більш чутливими і параметри відновлення цих акумуляторів повинні контролюватися жорстко. [15], [16].

На рис. 1.8. – 1.11 зображено графік заряджання акумулятора у 2, 3 і 4 стадії. [17]



Рис.1.8. 2 стадії заряджання акумулятора



Рис.1.9. 3 стадії заряджання акумулятора

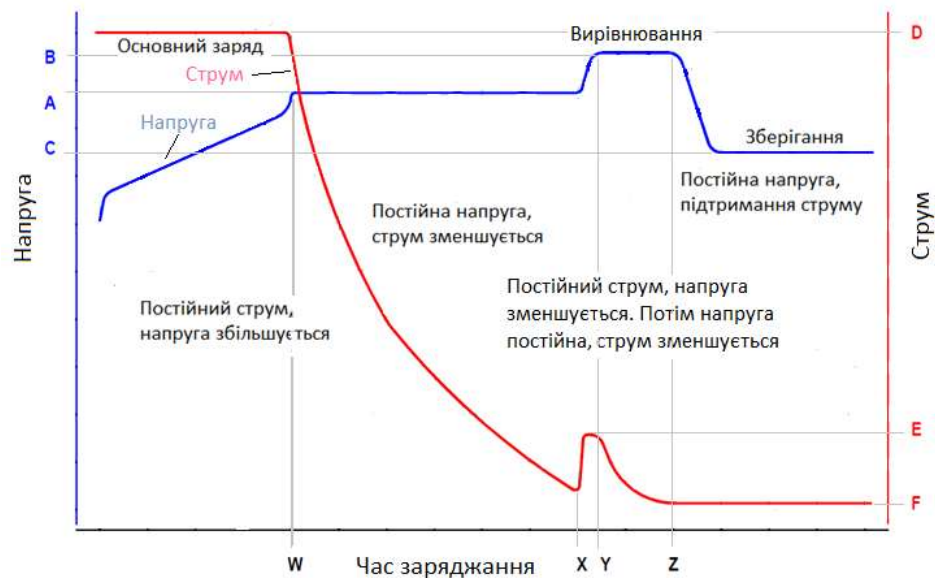


Рис.1.10. 4 стадії заряджання акумулятора

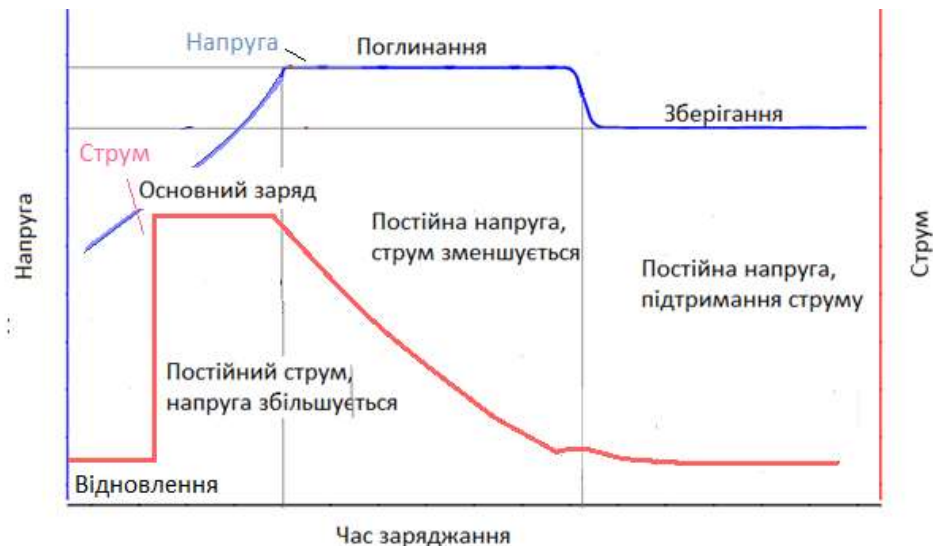


Рис.1.11. 4 стадії заряджання літійового акумулятора

Деякі зарядні пристрої для літій-іонних акумуляторів (Cadex) включають функцію «пробудження» (boost) або «підсилення», що дозволяє заряджати акумулятор, якщо він «заснув» через надмірний розряд. Стан сну може виникнути при тривалому знаходженні акумулятора в розрядженому стані. Звичайний зарядний пристрій розглядає такий акумулятор як непридатний до експлуатації. Зарядний пристрій з функцією пробудження застосовує

невеликий струм заряду, щоб підняти напругу між 2.2 і 2.9В і активувати схему захисту, після чого починається нормальний заряд.

Більшість зарядних пристроїв виконують заряджання у дві або три стадії, проте схема заряджання у дві стадії є простішою, а отже і дешевшою.

1.3 Пристрої для заряджання акумуляторів

Схеми для перезарядки батарей є важливою частиною будь-якої конструкції живлення. Складність (і вартість) системи зарядки в першу чергу залежить від типу акумулятора і часу перезарядки [18] .

Поточна технологія зарядки акумулятора покладається на мікропроцесори (комп'ютерні мікросхеми) для підзарядки в 2, 3, 4 або 5 стадій.

У табл. 1.4 наведено особливості використання зарядних пристроїв, які відрізняються за кількістю стадій заряджання, що реалізують [17], [19].

Таблиця 1.4

Кількість стадій заряджання	Відповідний зарядний пристрій
Заряджання у 2 стадії	Зарядні пристрої такого типу корисні в таких випадках, коли немає вимоги повертати 100% ємності акумулятора. Заряджання відбувається досить швидко і всього в 2 кроки.
Заряджання у 3 стадії	Три стадії зарядки виконують більшість зарядних пристроїв для свинцево-кислотних акумуляторів і літєвих акумуляторів. Виробники рекомендують цей алгоритм як найкращий і найбільш ефективний спосіб повернути повну потужність до батареї і продовжити термін служби батареї.
Заряджання у 4 стадії	Графік заряджання складається з трьох основних стадій: основного заряду, поглинання і зберігання. Додаткові стадії використовуються для поліпшення процесу заряджання акумулятора та не є необхідними. Застосовуються, зазвичай, промисловими зарядними пристроями.
Заряджання у 5 стадії	

Практично кожен виробник батареї розробив різні алгоритми зарядки для оптимізації характеристик перезарядки заданого типу акумулятора. Іноді відмінності між цими алгоритмами зарядки здаються досить незначними, але

в залежності від застосування батареї, навіть, здавалося б, невеликі відмінності в алгоритмі зарядки можуть мати значний вплив на термін служби батареї.

Класифікація зарядних пристроїв представлена на рис.1.12

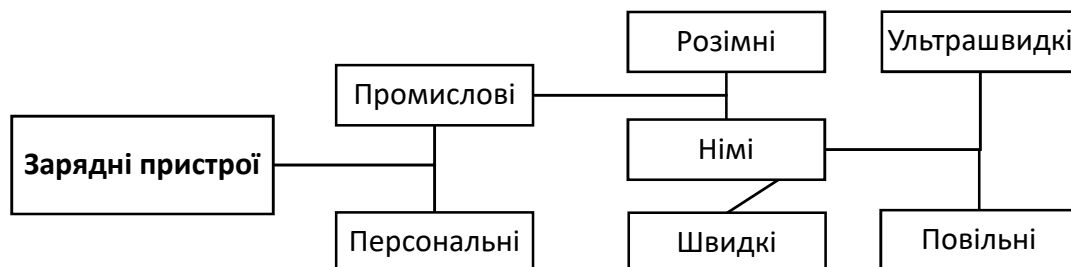


Рис.1.12. Класифікація зарядних пристроїв

Споживчі товари поставляються з недорогим персональним зарядним пристроєм, який добре працює при використанні за призначенням. Промисловий зарядний пристрій часто виробляється третьою стороною і включає спеціальні функції, такі як зарядка при несприятливих температурах. Незважаючи на те, що батареї працюють нижче температури замерзання, не всі хімічні сполуки можуть заряджатися за низьких температур. В цю категорію потрапляє більшість літєвих акумуляторів. Батареї на основі свинцю та нікелю приймають заряд за низьких температур, але з меншою швидкістю.

Швидкий зарядний пристрій пропонує кілька переваг, і очевидним є коротший час зарядки. Короткий час заряджання вимагає посилення зв'язку між зарядним пристроєм та акумулятором. При швидкості заряду, яку зазвичай використовує швидкий зарядний пристрій, розряджений Ni-Cd і Ni-MH заряджається за годину. Літій-іонні зарядні пристрої є найбільш ефективними і заряджають акумулятор до 70 % менш ніж за годину. Для кращої роботи літій-іонного акумулятора рекомендують уникати повного заряджання. З усіх зарядних пристроїв літій-іонний зарядний пристрій є найпростішим. Для свинцево-кислотних акумуляторів швидке заряджання не застосовується.

Більшість свинцево-кислотних зарядних пристроїв заряджають акумулятор за 14–16 годин. [13]

Після того, як акумулятор повністю заряджений, зарядний струм повинен якимось розсіюватися. Результатом цього розсіювання є генерація тепла і газів. Обидва процеси є небажаними. Суть хорошої зарядки полягає в тому, щоб бути в змозі виявити, коли відновлення активних хімікатів завершено, і зупинити процес зарядки до того, як почнеться процес виділення тепла чи газів. Виявлення цієї точки відсічення та припинення заряду є критично важливим для збереження ресурсу батареї. У найпростіших зарядних пристроях відбувається припинення заряджання коли досягається заздалегідь визначена верхня межа напруги, яку часто називають напругою припинення.

Зі збільшенням швидкості зарядки з'являється небезпека перезарядження або перегріву акумулятора. Запобігання перегріву акумулятора та припинення заряду, коли акумулятор досягає повної зарядки, стає набагато більш критичним. Кожна ячейка активної речовини має свою характерну криву заряджання, а зарядні пристрої для батареї повинні бути розроблені таким чином, щоб визначити умови кінцевого заряду для конкретної ячейки. Крім того, для запобігання перегріву акумулятора під час процесу зарядки необхідно ввести певну форму відключення температури або теплового запобіжника. Для швидкої зарядки та ультрашвидкої зарядки потрібні більш складні зарядні пристрої. Оскільки ці зарядні пристрої повинні бути розроблені для конкретної речовини, зазвичай, не можна заряджати один тип речовини у зарядному пристрої, який був розроблений для іншої речовини. Універсальні зарядні пристрої, що здатні заряджати всі типи активних речовин, повинні мати сенсорні пристрої, щоб ідентифікувати тип речовини і застосовувати відповідний профіль заряджання. Сигнал температури або запобіжник, що відновлюється, можна використовувати для вимкнення або від'єднання зарядного пристрою, коли з'являються ознаки небезпеки, щоб уникнути пошкодження акумулятора. Ця проста додаткова

					ДС51.510.101.001.ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

безпека особливо важлива для акумуляторів високої потужності, де наслідки аварії можуть бути досить серйозними.

Розумні (Smart) зарядні пристрої для акумуляторів контролюють рівень напруги в кожній батареї і припиняють зарядку (або перемикаються на низький рівень зарядки), коли акумулятори повні. Розумні зарядні пристрої для акумуляторів, як правило, є найкращим вибором для зберігання акумуляторних батарей у хорошій формі, оскільки вони запобігають перезарядці, яка може скоротити термін служби батареї.

Trickle. Вони тривалий час проводять заряд акумуляторів. Деякі з них мають таймери, тому автоматично вимикаються через певний проміжок часу. Однак це не обов'язково запобігає перезарядці акумулятора, так як час залежить від потужності, хімічності та віку батареї.

Якщо зарядний пристрій для акумуляторів не позначено як smart або trickle, він, ймовірно, є більш базовою моделлю, яка перекачує постійний електричний струм через батареї, поки користувач не вимкне зарядний пристрій. Ці моделі часто набагато дешевші, але важко сказати, коли акумулятори повністю зарядяться, тому є ризик перезарядження. [6], [12], [14]

Найпростіший зарядний пристрій представляє собою джерело живлення та акумулятор.

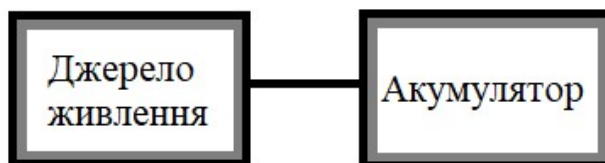


Рис.1.13. Структурна схема найпростішого зарядного пристрою

Між джерелом та акумулятором може встановлюватися обмежувальний резистор. Така система має малий ККД та повинна контролюватися для запобігання перезарядження або недозарядження. Вона не враховує початковий стан заряду акумулятора.

					ДС51.510.101.001.ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Більш оптимальні схеми заряду містять блоки, зображені на рис.1.14. Блоки варіюються в залежності від типу акумулятора, режиму заряджання, необхідної точності контролю заряджання, швидкості заряджання, необхідної вартості зарядного пристрою. [20]

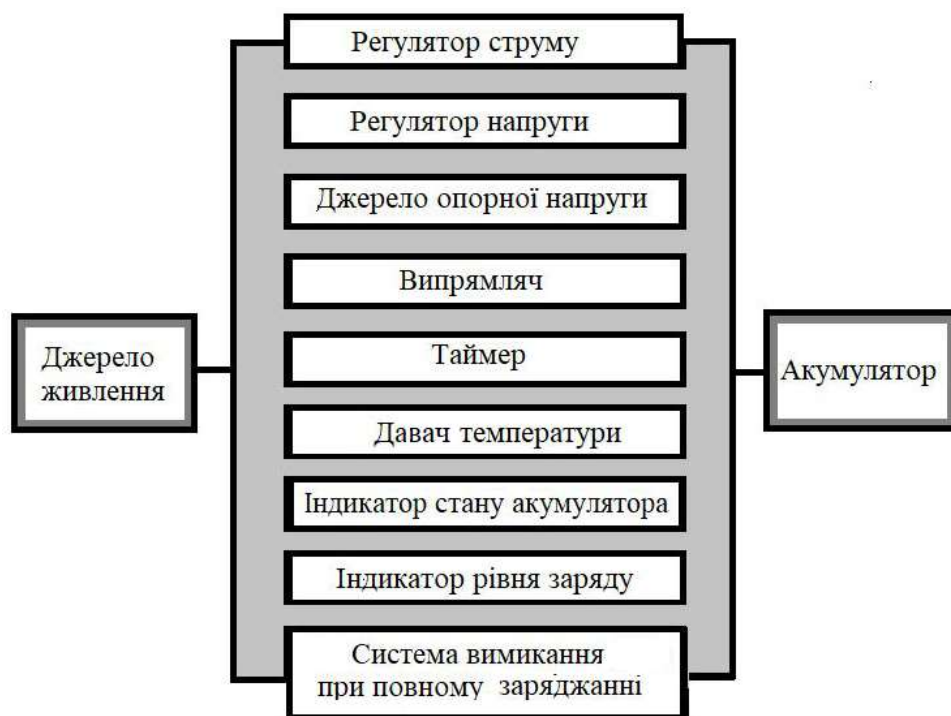


Рис.1.14. Блоки, з яких може складатися пристрій заряду акумулятора

Отже, ускладнення необхідного графіку заряджання, призводить до ускладнення схеми. У більшості випадків достатньо блоків, за допомогою яких реалізується двухстадійне заряджання: стабілізатора напруги та регулятора струму. Для реалізації складнішої кривої заряджання необхідне програмне керування.

1.4 Пристрої контролю заряду та розряду акумуляторів

Більшість зарядних пристроїв для акумуляторів не мають можливості регулювати струм та напругу. Ці зарядні пристрої розвивають внутрішній опір, тому вихідна напруга падає, коли акумулятор підключений до зарядного

пристрою. Крім того, коливання в лінії змінного струму також впливають на процес зарядки. У регульованому зарядному пристрої відсутні ці недоліки.

Регульований зарядний пристрій містить блоки, що контролюють заряд акумулятора. Саме контролер заряду реалізує стадії заряджання акумулятора. Чим складніша діаграма заряджання потребується, тим складніша буде схема контролера заряду. Окрім цього, контролер заряду може містити індикацію рівня заряду, рівня температури, часу заряджання для інформування користувача.

Можливості контролеру заряду:

- регулювати швидкість потоку електроенергії від джерела генерації до акумулятора і навантаження;
- тримати батарею повністю зарядженою, не перевантажуючи її;
- коли акумулятор повністю (або майже повністю) заряджений, зменшувати або зупиняти подачу електроенергії з джерела генерації або відводити її до допоміжного або "шунта" навантаження;
- «відчувати», коли навантаження зайняло занадто багато енергії від батарей, і зупиняють потік до відновлення достатнього заряду акумуляторів. [20], [21].

Система вимикання при повному заряді

На рис.1.15 представлено схему найпростішого контролера заряду розряду акумулятора. Тут використано компаратор для порівняння напруги акумулятора з опорною напругою. В якості ключа може бути використаний біполярний або польовий транзистор, тиристор, реле. При підвищенні напруги акумулятора вище опорної напруги або при зниженні нижче відбувається комутація ключа і джерело живлення або приєднується до акумулятора або від'єднується від нього.

					ДС51.510.101.001.ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

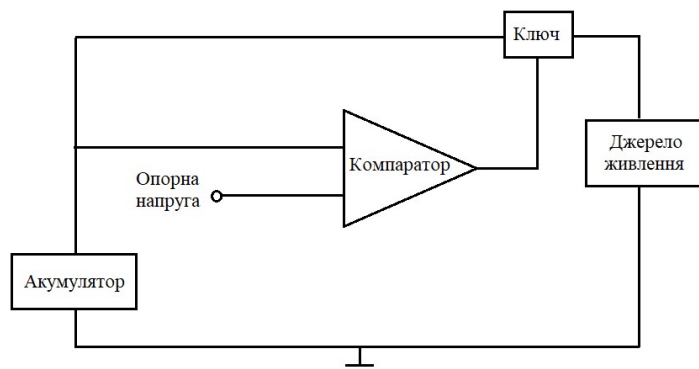


Рис.1.15 Схема контролера заряду-розряду на компараторі

На рис.1.16 зображена подібна схема, але тут опорна напруга регулюється мікроконтролером. Регулюючи напругу за допомогою широтно-імпульсної модуляції можливе імпульсне заряджання акумулятора.

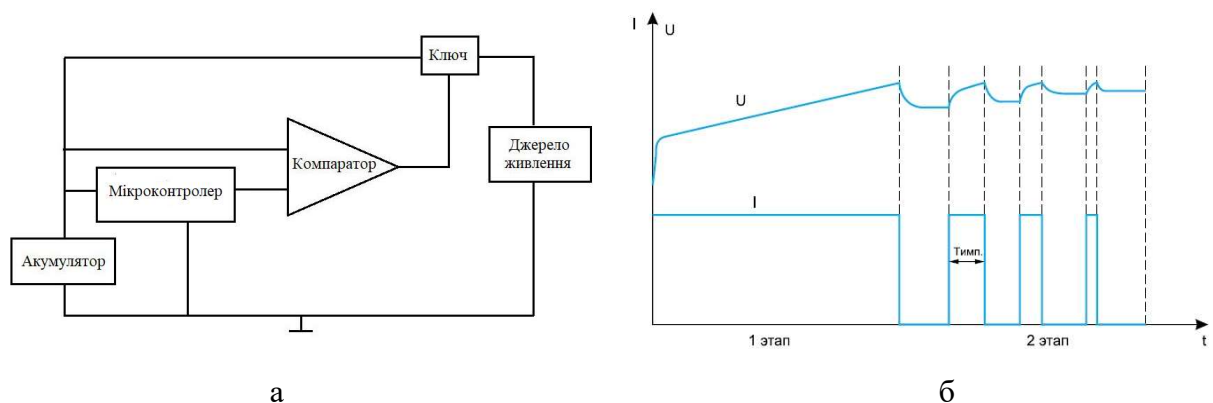


Рис.1.16 Схема контролера заряду-розряду на компараторі з мікроконтролером (а) та часова характеристика заряджання акумулятора цією схемою (б)

Так як розглянуті вище контроллери заряду-розряду відключають джерело живлення після заряджання акумулятора, вони є контроллерами послідовного типу.

У шунтових контролерах відбувається замикання полюсів джерела живлення, що змушує електричну енергію проходити через шунт, не досягаючи акумуляторної батареї. Шунтовий тип контролерів призначений

виключно для сонячних батарей, і не використовується в інших електрогенераторах.

На рис.1.17 зображено схему контролера шунтуючого типу.

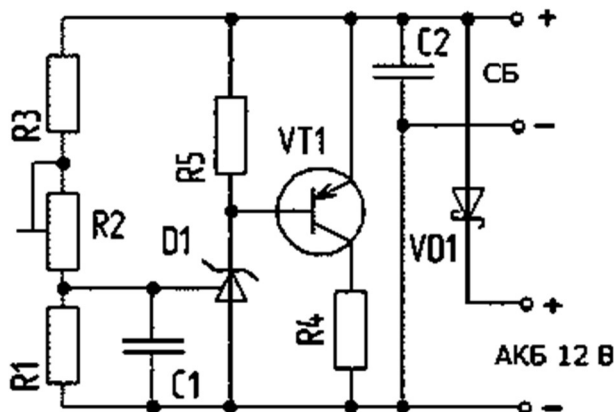


Рис.1.17 Принципова схема контролера шунтуючого типу

СБ підключається до акумуляторної батареї через захисний діод Шотткі VT1. У початковому стані керований стабілітрон D1 і транзистор VT1 закриті. Коли в ході зарядки напруга на АКБ підвищується, то синхронно підвищується і напруга на керуючому електроді стабілітрона D1. Коли вона досягає точки його включення (пробою), на базі транзистора VT1 встановлюється напруга близько 2.5 В, в результаті чого VT1 відкривається, СБ навантажується практично на низькоомний опір R4 і заряд акумулятора припиняється.

Ще один приклад схеми з шунтуючим контролером наведено на рис. 1.18.

Представлена схема зарядного пристрою для сонячних батарей використовується для зарядки акумуляторів свинцевої кислоти або Ni-Cd за допомогою сонячної енергії. Зарядний пристрій має елементи для регулювання напруги та струму та засоби відключення напруги. Схема використовує сонячну панель 12 В і регулятор змінної напруги LM 317. Зарядний струм проходить через D1 до регулятора напруги LM317. Регулюючи його шунт, можна регулювати вихідну напругу і струм. VR

забезпечує акумулятор напругою 9В . Резистор $R3$ обмежує струм зарядки і діод $D2$ запобігає розряду струму від акумулятора. Транзистор $T1$ і діод Зенера ZD діють як перемикач відключення, коли акумулятор заряджений. Зазвичай $T1$ вимкнений, і батарея отримує зарядний струм. Коли напруга на виводі батареї підвищується вище 6.8В , діод проводить і забезпечує струм бази $T1$. Потім він замикає вихід LM317, щоб зупинити зарядку.

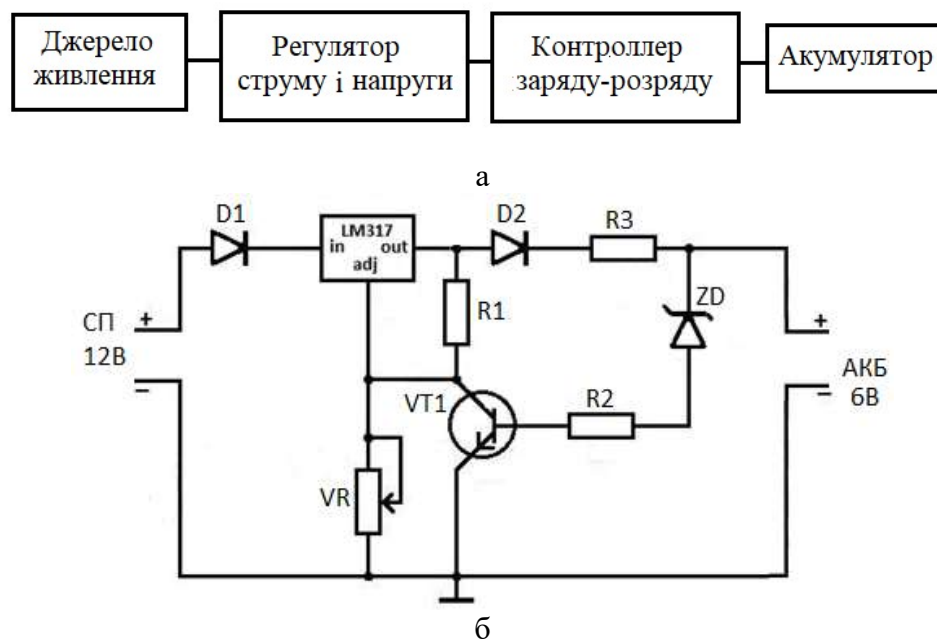


Рис.1.18 Структурна (а) і принципова (б) схеми з шунтуючим контролером

Джерело опорної напруги

Опорна напруга може забезпечуватися мікросхемою лінійного регулятора фіксованого виходу (наприклад LM78) або лінійним регулятором напруги на стабілітроні (рис.1.19) або іншим джерелом постійної напруги.

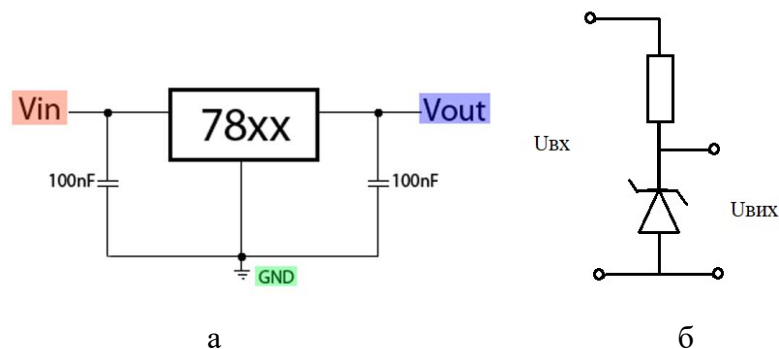


Рис.1.19 Схеми під'єднання мікросхеми LM78 (а) та стабілітрона (б)

На рис.1.20 представлена схема 12-вольтового зарядного пристрою, у якій використано лінійний регулятор на мікросхемі LM7809, компаратор для порівняння напруг та лінійний регулятор на стабілітроні.

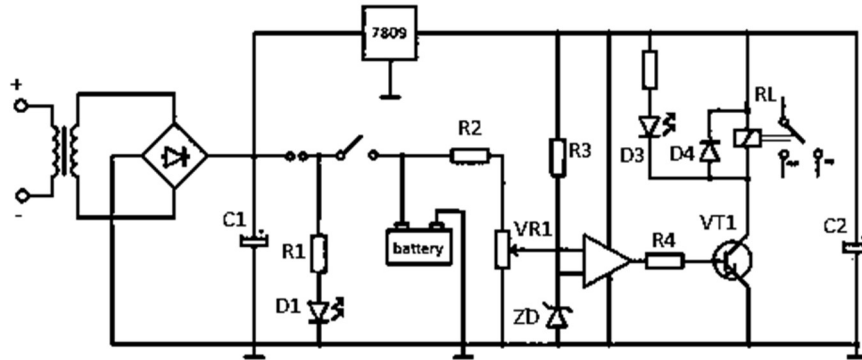


Рис.1.20 Принципова схема зарядного пристрою на мікросхемі LM7809

Якщо напруга акумулятора знижується нижче встановленого рівня, скажімо 13.5 В , схема автоматично вмикається в режим заряду. Зарядний струм, а також потужність схеми отримують з понижуючого трансформатора напругою $0-18\text{ В}$. Змінний струм низької напруги випрямляється мостовим випрямлячем, що містить $D1-D4$, і згладжується конденсатором $C1$. Для заряджання використовується 18 В постійного струму, а для живлення ланцюга використовується 9-вольтовий регульований постійний струм з $IC1$ (7809). Інвертуючий вхід компаратора отримує 4.7 В опорної напруги від стабілітрона ZD , в той час як неінвертуючий вхід отримує регульовану напругу через $VR1$, $VT1$ залишається закритим і утримує реле. Зарядний струм переходить до батареї через нормально підключені контакти реле. Коли напруга батареї зростає до 13.5 В , вивід 3 $IC2$ отримує більш високу напругу, ніж вивід 2, і вихід $IC2$ стає високим. При цьому активуються реле і контакти розриваються. Струм зарядки акумулятора відключається, а реле залишається у тому ж положенні, оскільки напруга батареї (13.5 В або більше) зберігає напругу на виводі 3 $IC2$ вище, ніж у виводі 2.

Регулятор напруги і струму

Часто пристрої контролю заряду реалізують на мікросхемі TL431. Частіше вона використовується для стабілізації струму та напруги. На рис.1.21 показана схема включення мікросхеми для керування транзисторним ключом. Така конфігурація також є досить використовуваною.

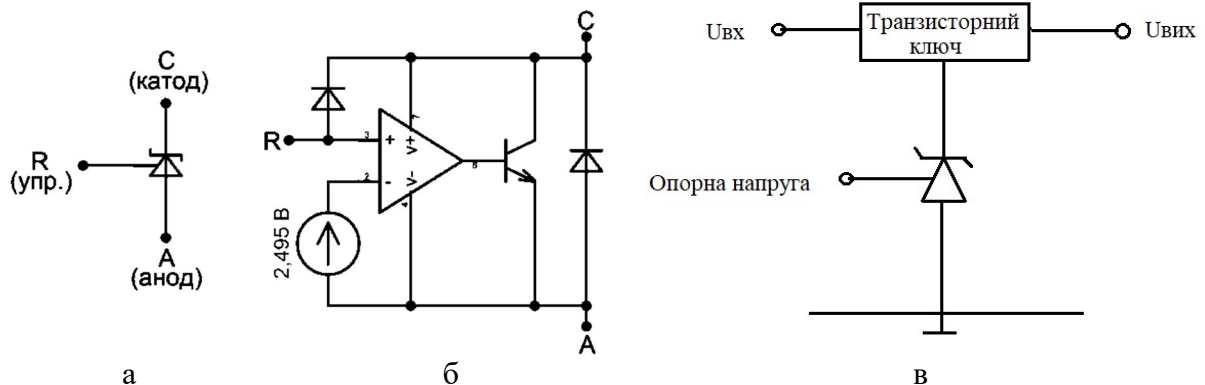


Рис. 1.21. Умовне графічне позначення (а), функціональна блок-схема (б) та схема включення TL431 (в)

На рис.1.22 наведено схему контролеру заряду-розряду, де TL431 використана для керування транзистором, що від'єднує акумулятор від навантаження при розрядженому стані акумулятора та під'єднує при зарядженому стані.

Мікросхема *DA1* використана як компаратор, який контролює напругу батареї, транзистор *VT1* - як електронний ключ, що розриває ланцюг живлення навантаження.

Пристрій працює наступним чином. Через мікросхему *DA1* тече струм не більше 0.5 мА , що не залежить від напруги на її вході управління, поки воно менше порога включення мікросхеми (близько 2.5 В). Коли напруга на вході управління перевищить поріг включення мікросхеми, струм через неї істотно зросте.

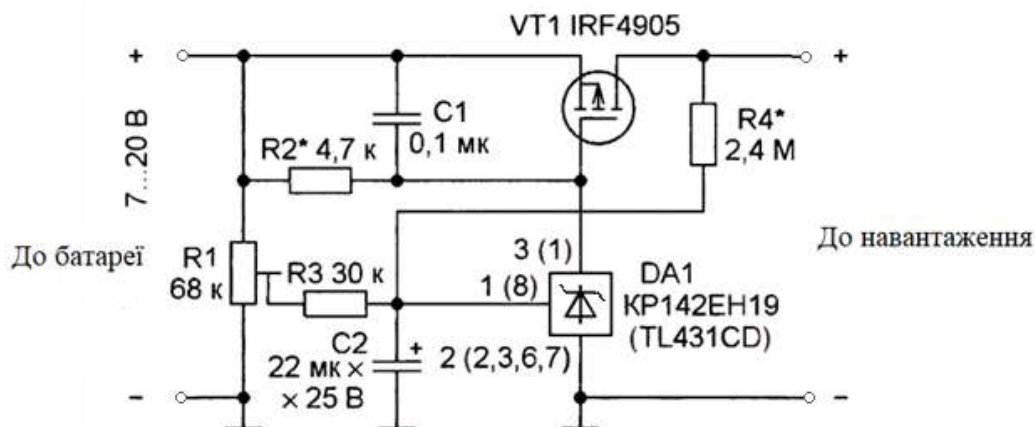


Рис.1.22 Принципова схема зарядного пристрою на мікросхемі TL431

Поріг спрацьовування пристрою встановлюють підлаштуванням резистора $R1$. На вхід управління мікросхеми контролювана напруга надходить через фільтр $R3C2$, щоб пристрій реагував на середнє значення напруги живлення, а не на миттєві його зміни. Коли напруга батареї перевищує встановлений поріг, через мікросхему протікає струм кілька міліампер, падіння напруги на резисторі $R2$ вистачає для підтримки транзистора $VT1$ у відкритому стані, тому навантаження підключено до батареї.

Коли напруга батареї стане менше встановленої межі, струм через мікросхему впаде, напруга на резисторі $R2$ виявиться недостатньою для відкривання транзистора $VT1$, в результаті чого він закриється і розірве ланцюг живлення навантаження.

Коли струм через мікросхему починає рости, транзистор $VT1$ відкривається і на виході з'являється напруга. Через резистор $R4$ вона надходить на вхід управління мікросхеми, напруга на ній зростає, що призводить до того, що струм через неї зростає ще більше і в кінцевому підсумку транзистор $VT1$ відкривається повністю. При зменшенні напруги живлення відбувається зворотний процес.

На рис.1.23 показано регулятор напруги і обмежувач струму на мікросхемі лінійного понижуючого перетворювача LM317. Ця мікросхема досить часто використовується у зарядних пристроях.

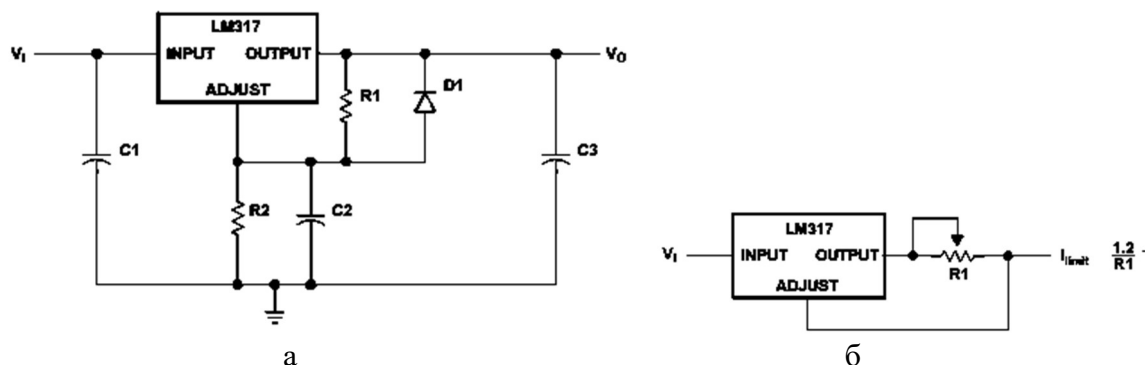


Рис.1.23. Регулятор напруги (а) і обмежувач струму (б) на мікросхемі LM317

Приклад принципової і структурної схеми, де використовуються ці конфігурації, показано на рис.1.24

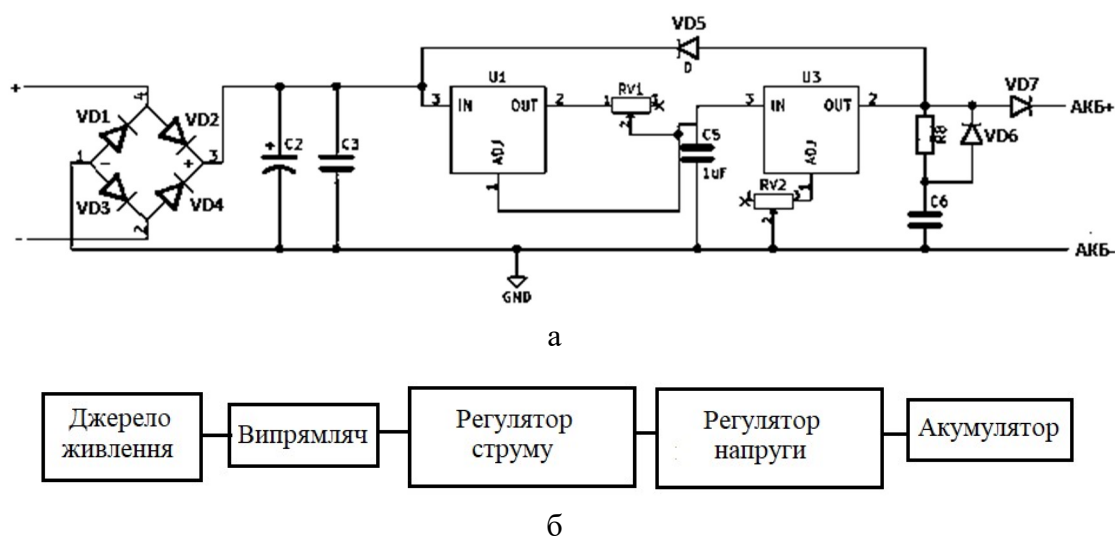


Рис.1.24. Принципова схема зарядного пристрою з регулятором напруги і обмежувачем струму (а) і структурна схема (б)

На рис. 1.24 представлена схема заряджання акумулятора, що дозволяє керувати напругою та струмом для так, щоб акумулятор можна було заряджати найкращим чином. Для цього використано дві мікросхеми LM317, одна використовується для управління напругою, а інша використовується для

обмеження струму. Для регулювання струму і напруги використовуються два потенціометра *RV1* і *RV2* відповідно. LM317 живиться від діодного моста.

На рис.1.24 наведено приклад використання LM317 для регулювання струму.

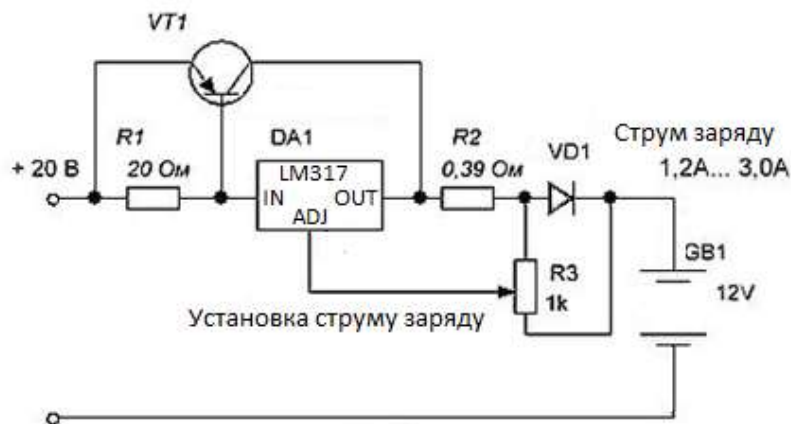


Рис.1.24. Схема зарядного пристрою на мікросхемі LM317

Схема працює наступним чином. На резисторі *R1*, при проходженні струму відбувається падіння напруги. Як тільки це падіння напруги, прикладене до переходу база - емітер транзистора *VT1*, перевищить поріг в 0.7 В , потужний транзистор почне відкриватися і весь основний струм заряду, буде текти через перехід колектор - емітер цього транзистора. Далі сума струмів, що протікають через регулюючу мікросхему і транзистор, буде протікати через резистор *R2*, від величини якого залежить максимально можливий зарядний струм. При збільшенні напруги на резисторі вище напруги референсної напруги мікросхеми 1.25 В , мікросхема працює таким чином, що її вихідний транзистор починає закриватися, утримуючи вихідний струм схеми на певному рівні. Струм стабілізації в цьому випадку буде дорівнювати $I_{ст} = 1.25/R_2$. Далі струм тече через діод *VD1*. Так як падіння напруги на прямо зміщеному переході діода мало залежить від струму, що проходить через нього, то діод в нашому випадку відіграє роль стабілізатора напруги.

Для стабілізації напруги може використовуватися простий дискретний лінійний стабілізатор напруги на транзисторі (рис.1.25).

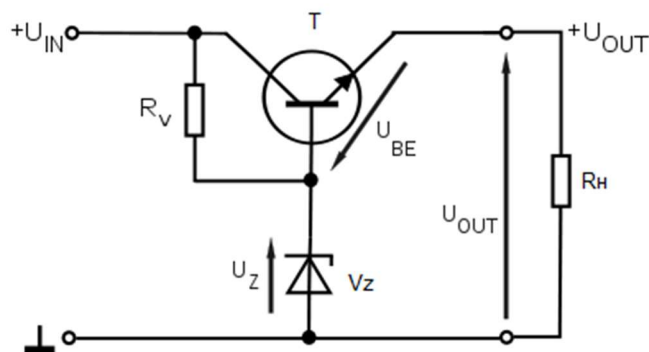
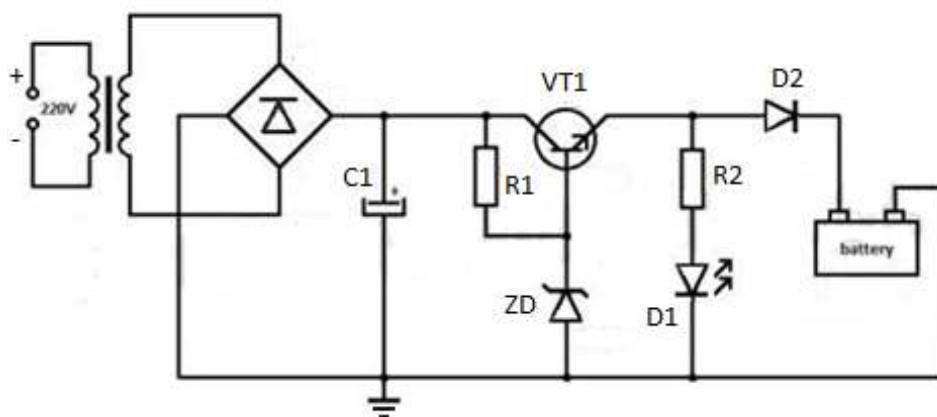
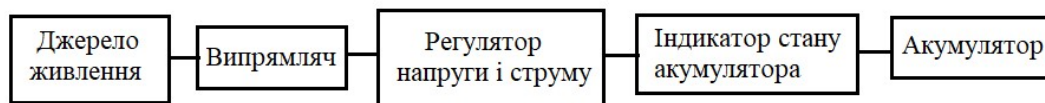


Рис.1.25. Схема стабілізатора на транзисторі

Приклад схеми з транзисторним стабілізатором представлено на рис.1.26 .



а



б

Рис.1.26. Принципова (а) та структурна (б) схеми зарядного пристрою зі стабілізатором напруги на транзисторі

Трансформатор понижує напругу з 230 В змінного струму на 15 В змінного струму, який випрямляється через мостовий випрямляч, що містить $D1-D4$.

Випрямлений постійний струм потім згладжується $C1$ і передається в колектор транзистора $T1$ середньої потужності NPN для забезпечення регульованого виходу. Резистори $R1$ і стабілітрони ZD використовуються як для регулювання напруги, так і струму. Вихідний струм від випромінювача $T1$ залежить від значення $R1$, яке може бути змінено відповідно до вимог з використанням закону Ома. 12-вольтовий стабілітрон дає постійну напругу 12 В до бази $T1$, так що вихідна напруга залишається 12 В незалежно від вхідних коливань. Діод $D5$ є захистом від полярності, який запобігає короткому замиканню, якщо полярність батареї змінена на протилежну. Світлодіод вказує на закінчення процесу зарядки.

Таймер

Мікросхема таймера NE555 найчастіше використовується у зарядних пристроях. Приклад використання наведено на рис. 1.27.

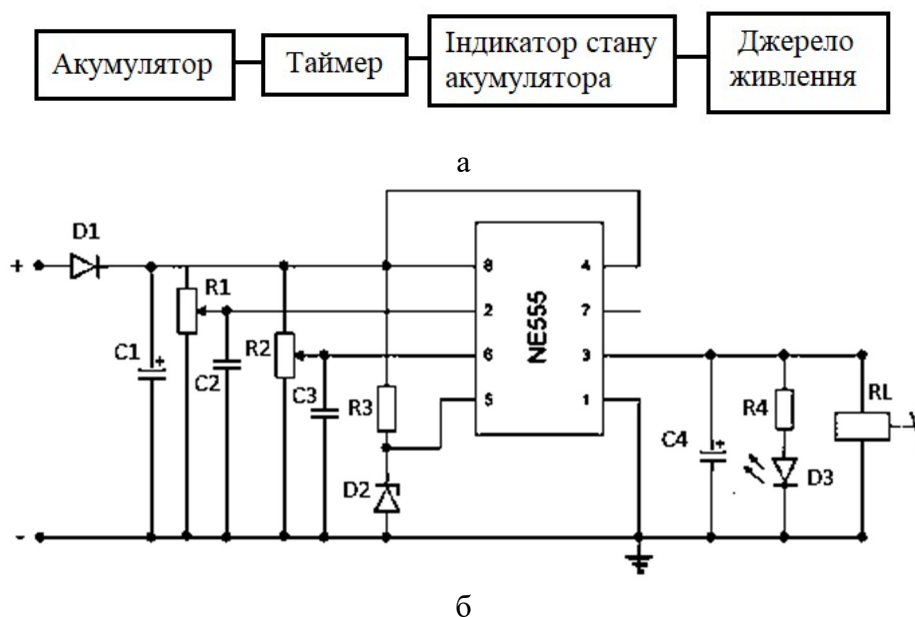


Рис.1.27. Структурна (а) та принципова (б) схеми зарядного пристрою з таймером

Індикатор рівня заряду

На рис. 1.28 показано індикатор стану акумулятора на декількох світлодіодах. У розглянутих вище схемах використовується індикатор стану

повного заряду та/або індикатор процесу заряджання. У данній схемі для індикації рівня заряду використовуються декілька світлодіодів, де верхній світлодіод повідомляє про критичний недозаряд, а нижній світлодіод – про критичний перезаряд. Середній світлодіод відповідає повному заряду акумулятора.

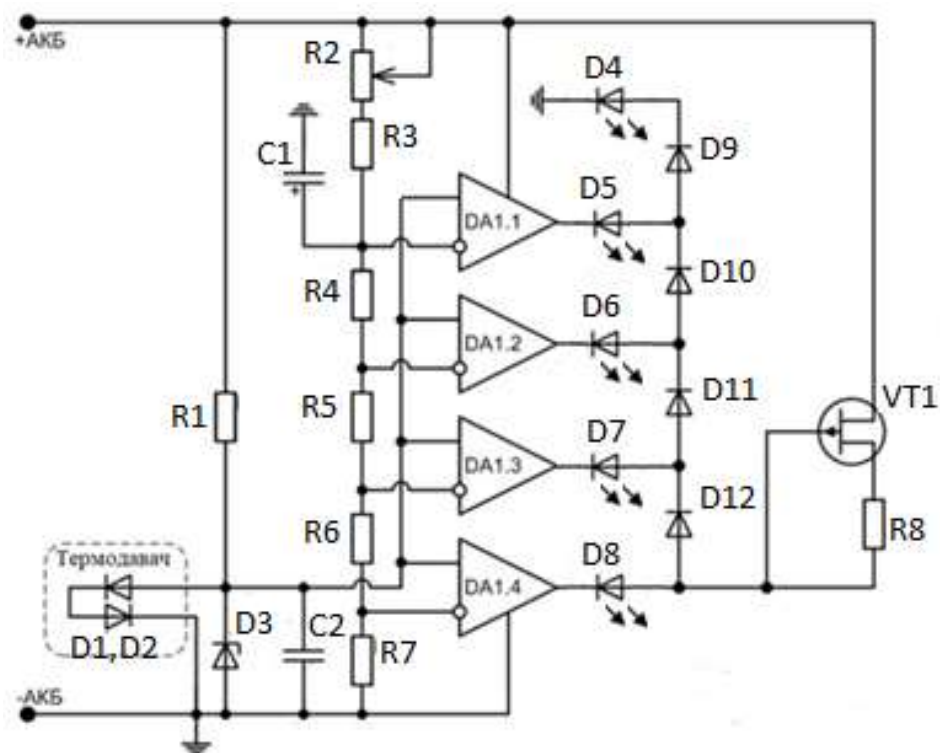


Рис.1.28. Принципова схема індикатора рівня напруги

Розглянуті блоки зустрічаються у контролерах заряду найчастіше. Також прилади заряджання з контролерами заряду можуть містити давачі температури, екрани для виведення інформації про стан заряду акумулятора та умови заряджання, мікропроцесори для програмного керування заряджанням акумулятора

2. КОНТРОЛЕР ЗАРЯДУ АКУМУЛЯТОРА, ЩО ЖИВИТЬСЯ ВІД СОНЯЧНОЇ ПАНЕЛІ

1.1 Сонячні батареї. Характеристики та режими роботи

Сонячна енергетика є одним з напрямків альтернативної енергетики. Вона використовує екологічно чисте відновлювальне джерело енергії – Сонце. Для перетворення енергії Сонця в електричну енергію використовуються сонячні батареї різних видів. Так як освітлення сонячної батареї сонячним випромінюванням не є контрольованим, постійним та рівномірним, багато уваги приділяється врахуванню змін, виявленню їхнього впливу на роботу сонячної батареї та розробкам методів компенсації втрат і підвищення ефективності роботи сонячних батарей.

Сонячна батарея (СБ) - це ланка сонячної електростанції, яке виробляє електричну енергію під дією фотонів сонячного світла, які надходять при прямому і розсіяному сонячному випромінюванні.

Сонячна батарея складається з кількох сонячних панелей. Сонячна панель (фотоелектричний модуль) складається з фотоелементів, які ще називають фотоелектричними комірками, сонячними елементами, фотоелектричними перетворювачами, що перетворюють сонячну енергію в постійний електричний струм. Фотоелектричний елемент складається з 2-х пластин напівпровідникового матеріалу. На одну пластину, з метою надання їй властивостей провідника негативних зарядів (n-область), наносять бор. Другу ж, з метою створення провідника позитивних зарядів, покривають фосфором (р - область). Типовий простий сонячний елемент використовує сонячне світло для виробництва електроенергії, яка протікає між двома шарами напівпровідників (рис.2.1). [9]

					ДС51.510.101.001.ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

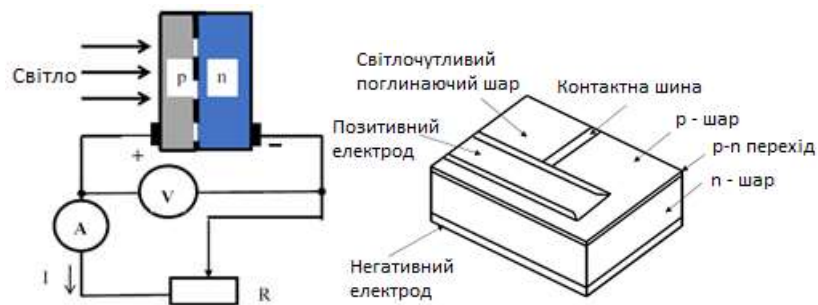


Рис.2.1. Будова фотоелементу

Основні характеристики фотоелемента [22],[23]

- Вольт-амперна характеристика (ВАХ) – залежність напруги від величини фотоструму на фотоелементах при постійному значенні світлового потоку; дозволяє визначити оптимальний робочий режим фотоелемента. ВАХ зображена на рис. 2.2 і представлена наступним чином:

$$I = I_{0s} (e^{\frac{eU}{kT}} - 1) - I_s,$$

де I_s – первинний фотострум, що створюється переміщенням електронів через p - n перехід при освітленні поверхні, дорівнює струму короткого замикання $I_{кз}$, А; I_{0s} – струм неосновних носіїв, А; e – заряд електрона по модулю, Кл, k – постійна Больцмана, Дж/К.

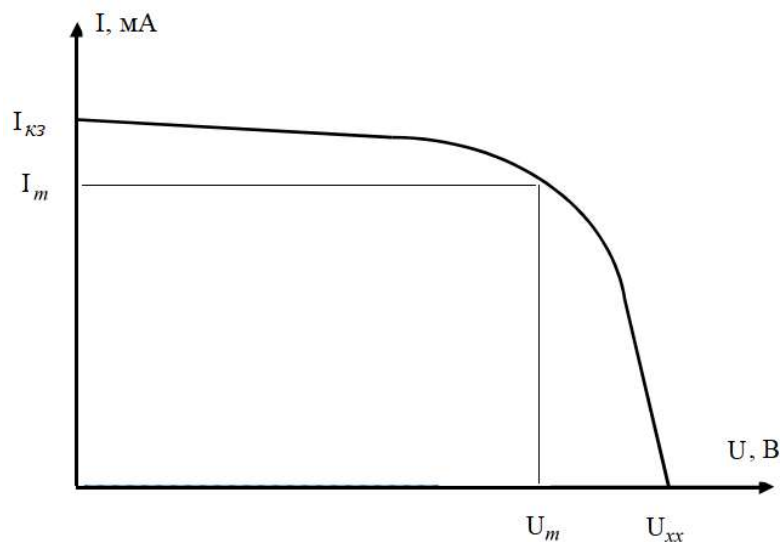


Рис.2.2. ВАХ фотоелемента

Напруга холостого ходу, що генерується на р-п переході кожного СЕ, трохи змінюється в залежності від особливостей технології виготовлення і складає близько $0,6\text{ В}$. Ця величина залежить від інтенсивності сонячного випромінювання, але не залежить від розмірів СЕ, якщо на всій його площі сформовано не більше одного р-п переходу. Величина струму СЕ залежить не тільки від інтенсивності сонячного випромінювання, а й від розмірів площі поверхні сонячного елемента.

Так як сонячний модуль складається з великої кількості фотоелементів, з'єднаних послідовно і паралельно, ВАХ модуля представляє собою суму ВАХ ФЕ за струмом і напругою. Отже, найважливішими точками ВАХ сонячної панелі є:

- струм короткого замикання, $I_{\text{кз}}$;
- напруга холостого ходу, $U_{\text{хх}}$;
- напруга у точці максимальної потужності, U_m ;
- струм у точці максимальної потужності, I_m .

Також для сонячних панелей визначають такі параметри як номінальна потужність і номінальна напруга, тобто такі значення напруги і потужності, які має сонячний модуль при роботі у стандартних умовах.

- Коефіцієнт корисної дії (ККД) або коефіцієнт перетворення (КП) сонячного випромінювання – відношення електричної потужності фотоелемента до падаючої світлової потужності при номінальному навантаженні

$$\eta = \frac{P_m}{\Phi} \cdot 100\% \quad (2.2)$$

де P_m – максимальна потужність, Вт; Φ – потік опромінення, що падає на поверхню, Вт.

Коефіцієнт перетворення сонячного світла в електроенергію сонячної батареї також називають ефективністю сонячної батареї. Його визначають при стандартних умовах тестування фотоелементу. Стандартними умовами є

					ДС51.510.101.001.ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

температура навколишнього середовища 25°C і 1000 Вт/м^2 світлового потоку при масі повітря 1.5 , що визначає товщину атмосфери, яку потрібно пройти сонячному світлу з космосу до поверхні землі. Промислові фотоелектричні модулі мають ККД в межах від 10 до 30%; при середньому надходженні сонячного випромінювання вони можуть виробляти за день від 1 до 2 $\text{кВт}\cdot\text{год}$ електроенергії на 1 м^2 робочої поверхні. Для популярних полікристалічних сонячних панелей ККД становить від 16% до 17,5%. У монокристалічних сонячних батареях цей параметр вище і становить від 17% до 19%. Наприклад для полікристалічного модуля розміром $1650 \text{ мм} \times 991 \text{ мм}$ з ККД 15,9% потужність складе 260 Вт , а при ККД 17,1% потужність буде 280 Вт при тому ж розмірі модуля.

- Інтегральна чутливість – відношення фотоструму до потоку світла, що його спричиняє, при короткозамкнутих виводах у напівпровідникових фотоелементах;

$$\mu = \frac{I_{\Phi}}{\Phi}, \quad (2.3)$$

де I_{Φ} – фотострум, А; Φ – світовий потік, Вт.

- Спектральна чутливість – величина, що визначає діапазон значень довжини хвиль оптичного випромінювання;

$$\mu_c = \frac{I_{\Phi}}{\Phi_m}, \quad (2.4)$$

де I_{Φ} – фотострум, А; Φ_m – потік монохроматичного світла, Вт.

Сонячна батарея містить десятки і сотні тисяч окремих фотоелементів, з'єднаних послідовно, паралельно або паралельно-послідовно (рис. 2.3) з метою забезпечення необхідних номіналів струму і напруги. Функціонування кожного окремо взятого елемента впливає на загальну продуктивність всієї панелі або батареї.

					ДС51.510.101.001.ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

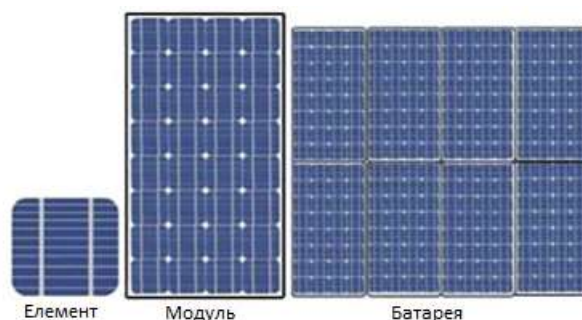


Рис.2.3

Сучасні СБ генерують при освітленні значну електричну потужність і застосовуються як для живлення космічних апаратів, так і для багатьох наземних автономних пристроїв різного призначення.

Сонячні батареї можуть бути виготовлені на основі кремнію різної якості (чистоти) (рис.2.4):

- монокристалічного,
- полікристалічного,
- аморфного.



Рис.2.4. Вигляд фотоелементів

Кругла і псевдоквадратная форми сучасних сонячних елементів, виготовлених з кремнію монокристалічного типу, визначаються тим, що вихідні пластини для виробництва ФЕП нарізаються із злитка монокристалічного кремнію циліндричної форми.

ФЕП, виготовлені з полікристалічного кремнію, зазвичай мають квадратну форму, так як виготовляються із злитків, отриманих литтям в прямокутні форми.

					ДС51.510.101.001.ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Використовують також аморфні (тонкоплівкові) сонячні елементи, що виготовлені з дуже тонких шарів матеріалу (менше 10 мікрометрів). Деякі з цих «тонкостінних» комірок, як і звичайні сонячні елементи, мають тверду підкладку, у інших є гнучка підкладка. «Тонкостінні» елементи добре підходять для виготовлення легких або гнучких панелей. Вони також добре підходять для покриття великих площ, таких як стіни будівлі. Такі фотоелементи є найменш ефективними.

Якість матеріалу впливає на термін служби сонячної батареї, на її продуктивність, і на її вартість. Також на вартість, надійність, довговічність і ефективність впливає безліч інших параметрів сонячної батареї: якість скла і підкладки, якість профілю, збір коробки і т.д. [22], [23], [24]

Параметри, від яких в першу чергу залежить продуктивність сонячної батареї:

- географічне положення;

Продуктивність сонячної станції безпосередньо пов'язана з її географічним положенням. Чим далі від екватора перебуває фотоелемент, тим менше сонячного світла потрапляє на його поверхню. Для України середньорічна сумарна енергія сонячного випромінювання знаходиться в межах від $1070 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2$ на півночі і до $1400 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2$ на півдні країни.

- орієнтація і куту нахилу сонячних батарей;

Оскільки ідеальним варіантом орієнтації фотоелементів щодо Сонця є орієнтація в бік екватора (географічний Південь) і кут установки фотоелементів перпендикулярно сонячним променям, зрозуміло, що будь-яке відхилення від цього напрямку буде позначатися на продуктивності фотоелементів.

Оптимальний кут нахилу сонячних панелей залежить від широти місцевості, а також може бути змінений, в залежності від того, якої оптимізації у виробництві енергії необхідно домогтися. Так, він може бути зменшений від оптимального значення, якщо фотоелектрична система працює в літній період,

					ДС51.510.101.001.ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

збільшений, якщо фотоелектрична система експлуатується в основному в осінньо-зимовий період, або прийнятий середнім за значенням, якщо фотоелектрична система призначена для цілорічної експлуатації. Невеликі відхилення до 5 градусів від цього оптимального кута дають незначний вплив на продуктивність системи. Оптимальний всесезонний кут нахилу для географічної широти України становить 35-36 градусів.

- температура та рівень освітлення;

Повністю закономірно, що максимальне значення вихідної потужності сонячного елемента або батареї змінюється в залежності від рівня освітлення. Як видно з рис. 2.5(а) при зміні рівня освітлення вихідний струм змінюється дуже істотно, а навантаження майже не змінюється.

При зміні температури напруга змінюється дуже сильно, а сила струму – незначною мірою. Із цього слідує наступне. Втрати потужності в кабелях і проводах виражаються залежністю $I^2 \cdot R$. В результаті зміна сили струму, що викликається зміною рівня опромінення, може надавати більш серйозний вплив на загальну ефективність системи, ніж коливання напруги внаслідок перепадів температури (рис. 2.5).

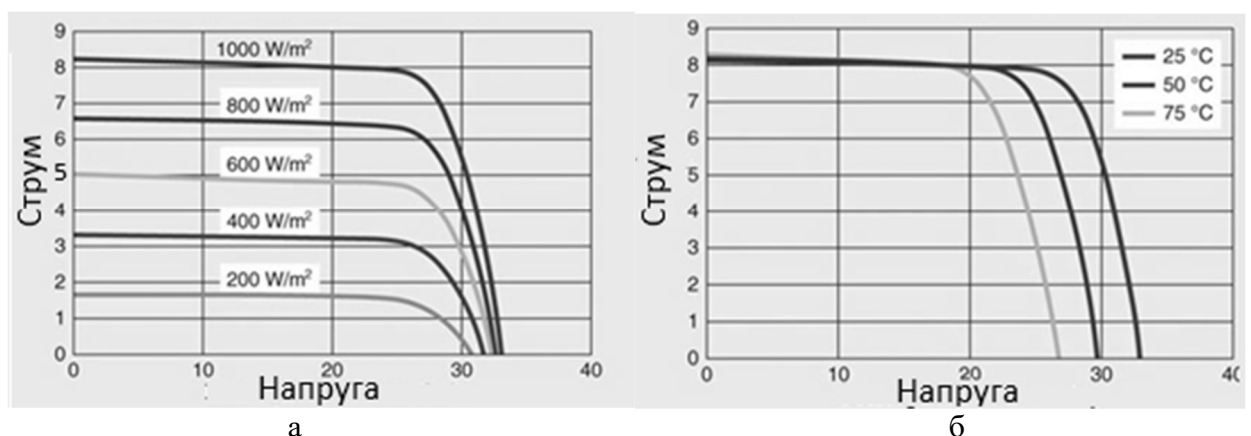


Рис.2.5. ВАХ сонячної панелі при зміні рівня освітлення (а) та при зміні температури (б)

На продуктивність сонячної станції так само впливає температура, обумовлена типом установки фотомодулів. Так електричній станції, що розташована на землі, або на странції, що розташована на даху, вироблення

електроенергії буде трохи більше, ніж для станції встановленої на похилому даху. Це обумовлено тим, що у фотомодулів, що вільно стоять, краща вентиляція та охолодження, що важливо при експлуатації сонячних панелей в спекотні літні дні.

- затінення;

Очевидно, що затінення фотомодулів частково або повністю знижує його ефективність.

Коли фотоелемент опромінюється сонячним світлом, він веде себе як джерело струму відповідно до його вольт-амперної характеристики і еквівалентної схеми (рис. 2.6). Коли сонячний елемент знаходиться в тіні, його вольт-амперна характеристика і еквівалентна схема більше схожі на схему заміщення і діода (рис. 2.7).

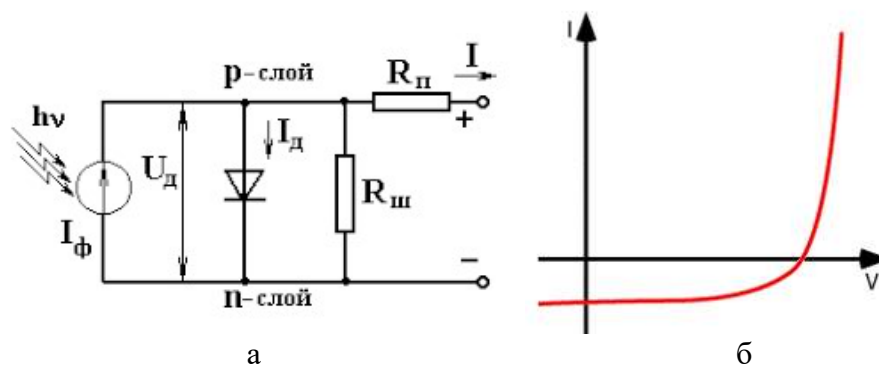


Рис.2.6. Еквівалентна схема фотоелемента при освітленні (а) та ВАХ цієї схеми (б)

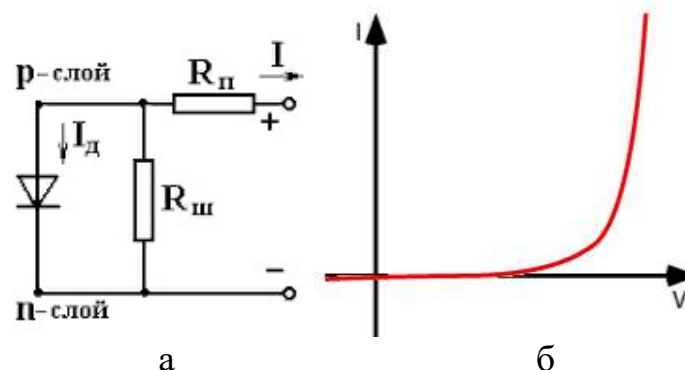


Рис.2.7. Еквівалентна схема ФЕ при відсутності освітлення (а) та ВАХ цієї схеми (б)

Додавання в схему кожного елемента шунтуючого діода дозволяє підвищити продуктивність батареї при її затіненні (рис.2.8).

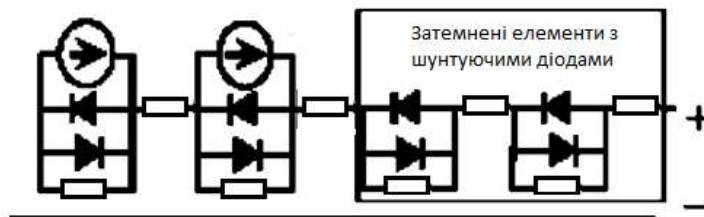


Рис.2.8.

У період затемнення проявляється також і вплив температури. Холодні сонячні батареї ефективніші, ніж теплі. В результаті максимальна продуктивність сонячної батареї спостерігається в період часу від моменту її виходу з зони затемнення до входу в область найбільшої інтенсивності сонячного випромінювання. Продуктивність сонячної батареї поступово знижується в період її перебування в умовах максимальної освітленості.

2.2 Розробка пристрою контролю заряду акумуляторної батареї

Основними елементами схеми заряджання акумулятора є:

- джерело живлення,
- контролер заряду,
- акумулятор.

В залежності від виду акумулятора та типу його заряджання, контролер заряду може містити різні елементи.

На рис. 2.9 зображено схему заряджання акумулятора методом «постійний струм/постійна напруга» від сонячної панелі.

Стабілізатор напруги стабілізує напругу, що подається на акумулятор, на певному рівні, для заряджання акумулятора. Проте, якщо акумулятор сильно розряджений, при під'єднанні до схеми він вимагатиме струму заряджання занадто великого для стабілізатора напруги, тому доцільно встановити регулятор струму, який пропускати через себе струм більший за допустимий максимальний струм стабілізатора напруги.



Рис.2.9.

На рис. 2.10 представлена така сама структурна схема, але покращена баластним навантаженням, системою його під'єднання та від'єднання та системою під'єднання та від'єднання акумулятора.



Рис.2.10.

Очевидно, що система під'єднання та від'єднання акумулятора буде під'єднувати акумулятор до схеми заряджання, коли його розряджено, та від'єднувати при повному заряді (рис. 2.11). Це реалізовано для захисту акумулятора від перезаряду та глибокого розряду. Так як майже повністю заряджений акумулятор при заряджанні потребує менше енергії, ніж розряджений акумулятор, а джерело здатне енергію генерувати, в схемі використане баластне навантаження - нагрівач, яке під'єднується до джерела живлення при досягненні ємності акумулятора близько 80% від максимальної.

Баластне навантаження буде від'єднано від сонячної панелі, коли акумулятор розряджено і він потребує достатньої енергії.

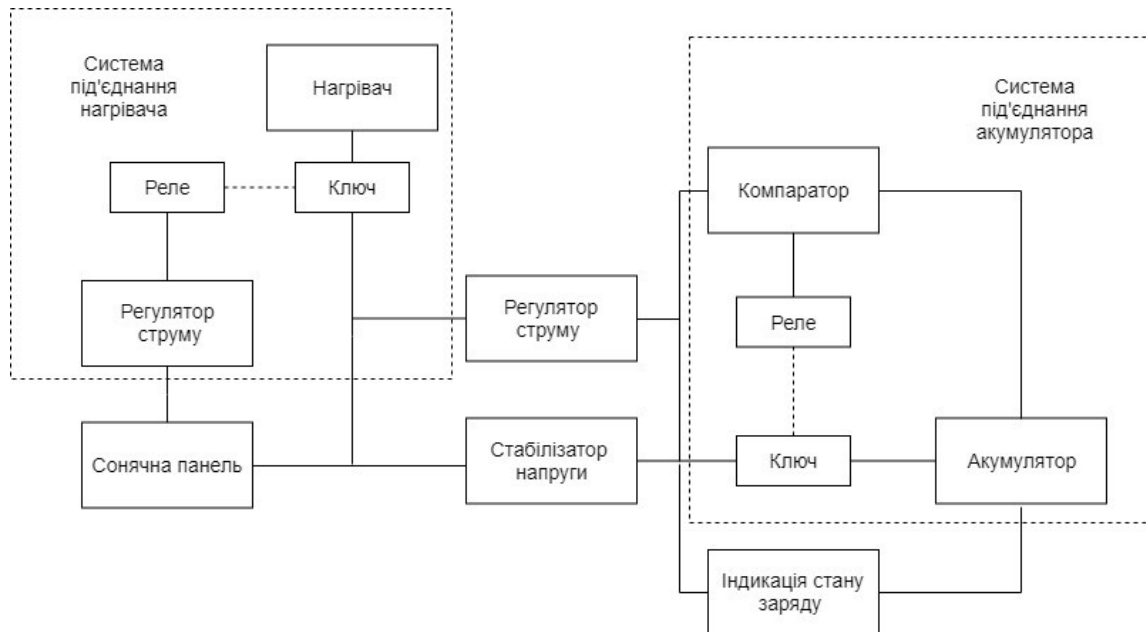


Рис.2.11.

Під'єднання і від'єднання нагрівача та акумулятора реалізовується за допомогою електромагнітного реле, що реагує на величину струму, що проходить по його обмотці. Для керування реле у системі під'єднання нагрівача використано регулятор струму, так як баластне навантаження необхідно під'єднувати до сонячної панелі у той момент, коли струм живлення акумулятора починає зменшуватися. Реле у системі під'єднання акумулятора керується компаратором порівняння рівня напруги акумулятора з рівнем напруги стабілізатора напруги, отже акумулятор від'єднується від сонячної панелі у момент повного заряджання. Для розуміння користувачем стану акумулятора (розряджений чи заряджений) використано індикатор стану акумулятора.

3. ВИБІР ТА РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СХЕМИ

Акумулятор

Акумулятор є навантаженням схеми в процесі заряджання та джерелом живлення в процесі розряджання. Так як джерело живлення акумулятора – сонячна панель – є нестабільним джерелом енергії, робота якого безпосередньо залежить від погодних умов, акумулятор повинен добре працювати при циклічному характері роботи. Акумулятори серії SOLAR GEL RANGE виготовлені спеціально для міні-електростанцій на базі сонячних панелей. Це свинцево-кислотні гелеві акумулятори, отже вони є стійкими до перезаряду, до глибокого розряду, можуть забезпечувати велику кількість перезаряджання. Акумулятори цієї серії не потребують обслуговування. Обраний акумулятор ES20-12G має параметри наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Номинальна напруга	12.84 В
Ємність	20 А·год
Напруга повного заряду	13.5 - 13.8 В
Допустимий діапазон робочих температур	-40°C ... +70°C
Допустимий максимальний струм заряду	4.6 А
Кількість циклів розряджання на 80%	більше 1000 циклів

Сонячна панель

Сонячна панель є джерелом живлення схеми. Вона повинна мати достатню потужність для забезпечення роботи всіх елементів схеми. Сонячний модуль повинен мати більш високу напругу, ніж акумулятор, щоб повністю зарядити його, так як стабілізатор напруги є понижуючим.

Обрана сонячна панель AБи-Solar M36160-D має параметри: наведені в табл. 3.2.

					ДС51.510.101.001.ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.2

Максимальна потужність	160 Вт
Напруга у точці максимальної потужності	18.46 В
Струм у точці максимальної потужності	8.68 А
Напруга холостого ходу	22.9 В
Струм короткого замикання	9.26 А
Допустимий діапазон робочих температур	-40°C ... +85°C
КПД панелі	16.14%

Нагрівач

Нагрівач є баластним навантаженням схеми. Так як сонячна панель має потужність 160 Вт, бажано, щоб нагрівач мав меншу потужність. Обраний занурюваний нагрівач призначений для нагрівання рідин і має потужність 120 Вт, напругу живлення 12 В.

Стабілізатор напруги і регулятори струму

Стабілізатор напруги реалізовано на основі розповсюдженої мікросхеми LM317. На рис. 3.1 зображено базову схему з'єднання LM317 у якості регулятора напруги.

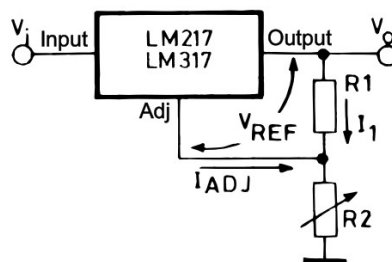


Рис.3.1.

Для забезпечення протікання струму вище певного рівня не через стабілізатор напруги, так як він буде виділяти багато теплової енергії, встановлено транзистор PNP структури. Схема з транзистором показана на рис.3.2 .

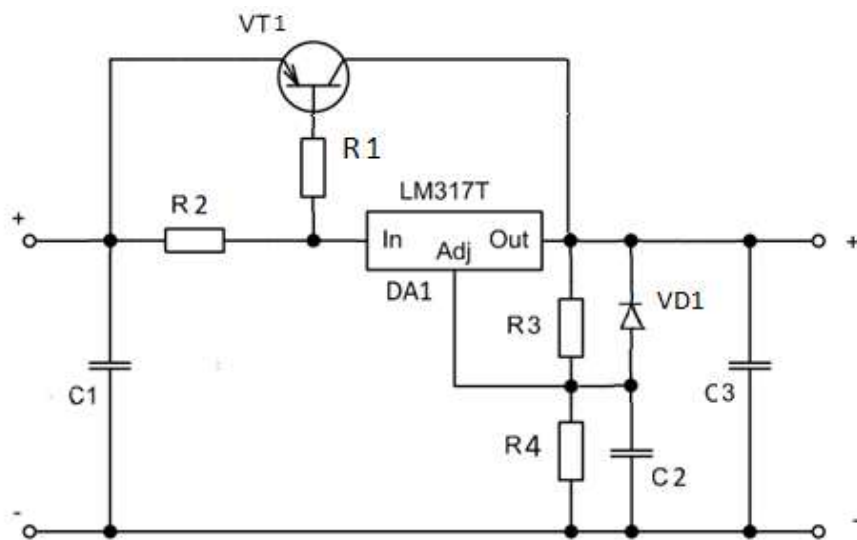


Рис.3.2.

Для зменшення пульсацій встановлено конденсатори $C1$, $C2$ і $C3$ номіналом 1 мкФ , 10 мкФ і 1 мкФ відповідно. Конденсатор $C1$ стабілізує вхідну напругу. Його рекомендується встановлювати в будь-якій схемі для вирівнювання напруги джерела живлення. Конденсатор $C2$ стабілізує вихідну напругу; він є особливо важливим при великій різниці між вхідною і вихідною напругою. Конденсатор $C3$ покращує перехідну характеристику, тобто зменшує пільсації при різкій зміні вхідної напруги.

Діод DI є необхідним при наявності конденсатора $C2$. Діод є захисним і забезпечує низькоомний шлях розряду конденсатора для запобігання розрядженню конденсатора через вихід регулятора напруги.

Напруга на виході мікросхеми U_{out} повинна бути рівною напрузі зарядженого акумулятора $13,5 - 13,8 \text{ В}$. Оберемо резистор $R3=200 \text{ Ом}$. Розрахуємо $R4$:

$$U_{out} = (1 + \frac{R_4}{R_3}) \cdot U_{ref}$$

Так як референсна напруга U_{ref} для LM317 дорівнює 1.25 В , $R4 = 2000 \text{ Ом}$, тоді $U_{out} = 13.75 \text{ В}$.

Максимальний струм, що витримує мікросхема LM317T – 1.5 А. Для забезпечення акумулятора струмом до 4.6 А колекторний струм транзистора повинен бути максимум 3.1 А.

Транзистор повинен розсіювати максимальну потужність навантаження, що становить:

$$P_{load_M} = I_{load_M} \cdot (U_{in_M} - U_{out}) = 4.6A \cdot (22.9V - 13.75V) = 4.6A \cdot 9.15V = 42.09W$$

Потужність транзистора бажано обирати у 1.5-2 рази більшу.

Параметри обраного транзистора TIP127 представлені у табл. 3.4.

Таблиця 3.4

Структура	PNP
Матеріал	Кремній
Максимальний струм колектора	5 А
Максимальний струм бази	120 мА
Максимальна потужність розсіювання	65 Вт
Допустимий діапазон робочих температур	-65°C ... +150°C

Для відкривання кремнієвого транзистора напруга база-емітер повинна бути більше 0.6 - 0.8 В. Візьмемо $R_2 = 0.75 \text{ Ом}$. Тоді струм навантаження, при якому відкриється транзистор приблизно буде дорівнювати:

$$I_{ep} = U_{be} / R_2 = 0.7V / 0.75\Omega = 0.93A$$

На рис. 3.3 зображено залежність струму колектора від напруги колектор-емітер та залежність коефіцієнту підсилення транзистора від струму колектора.

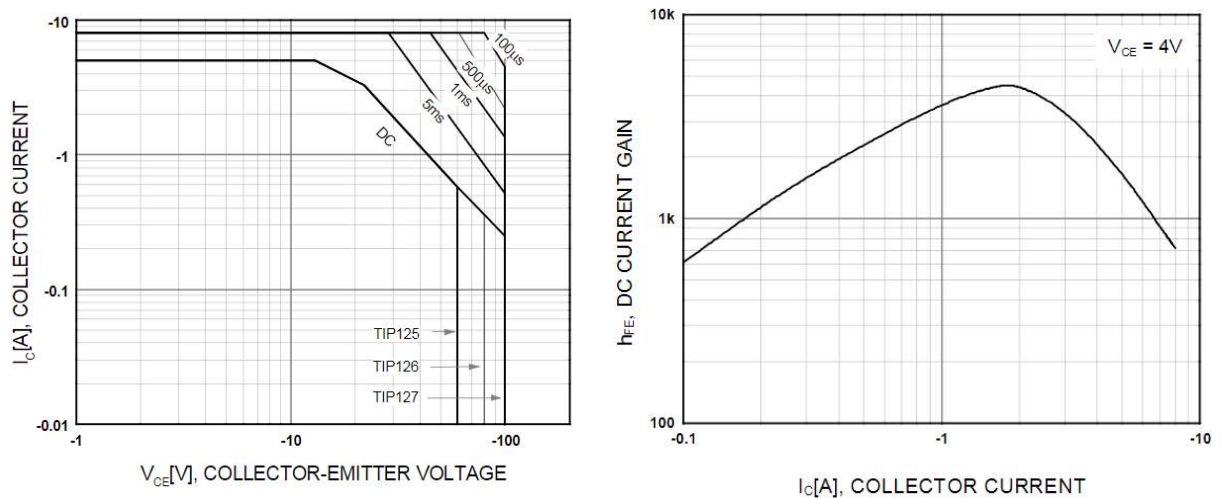


Рис.3.3. Характеристики транзистора

Так як напруга колектор-емітер дорівнює різниці між вхідною напругою стабілізатора та стабілізованою напругою, максимальне її значення:

$$U_{ке} = 22.9B - 13.75B = 9.15B$$

При цій напрузі та меншій напрузі максимальний струм колектора – 5 А. Зменшимо струм колектора за допомогою резистора на базі транзистора.

Коефіцієнт підсилення транзистора є відношенням струму колектора до струму бази. При струмі колектора 3 А коефіцієнт підсилення дорівнює 2000, отже:

$$h_{FE} = \frac{I_{\kappa}}{I_{\delta}} = 2000$$

З цього виходить, що струм бази $I_{\delta} = 0.0015A = 1.5 \text{ мА}$.

Тоді:

$$R_1 = \frac{U_{\delta e}}{I_{\delta}} = \frac{0.70 \text{ мВ}}{1.5 \text{ мА}} = 466 \text{ Ом}$$

Найближчий реальний номінал резистора – 470 Ом.

Реле

Для від'єднання та під'єднання нагрівача обрано реле T90N1D12-12, параметри якого наведені в табл. 3.5.

Таблиця 3.5

Номінальна напруга	12 Вт
Номінальний опір	155 Ом
Номінальний струм	77 мА
Напруга замикання контактів	9 В
Напруга відпускання контактів	1.2 В
Максимальна напруга, що може бути прикладена до обмотки реле	24 В

Для зміни напруги інверсного входу компаратора та для від'єднання акумулятора від схеми використано двухполюсне реле RTE24012, параметри якого наведено в табл. 3.6.

Таблиця 3.6

Номінальна напруга	12 Вт
Номінальний опір	360 Ом
Номінальний струм	33 мА
Напруга замикання контактів	8.4 В
Напруга відпускання контактів	1.2 В
Максимальна напруга, що може бути прикладена до обмотки реле	33.6 В

Паралельно обмотці кожного з цих реле встановлено випрямний діод, що захищає схему від скачків напруги, які виникають через явище електромагнітної індукції при перемиканні положення контактів.

Регулятор струму для схеми від'єднання і під'єднання нагрівача

Регулятор струму для схеми від'єднання нагрівача зображено на рис. 3.4.

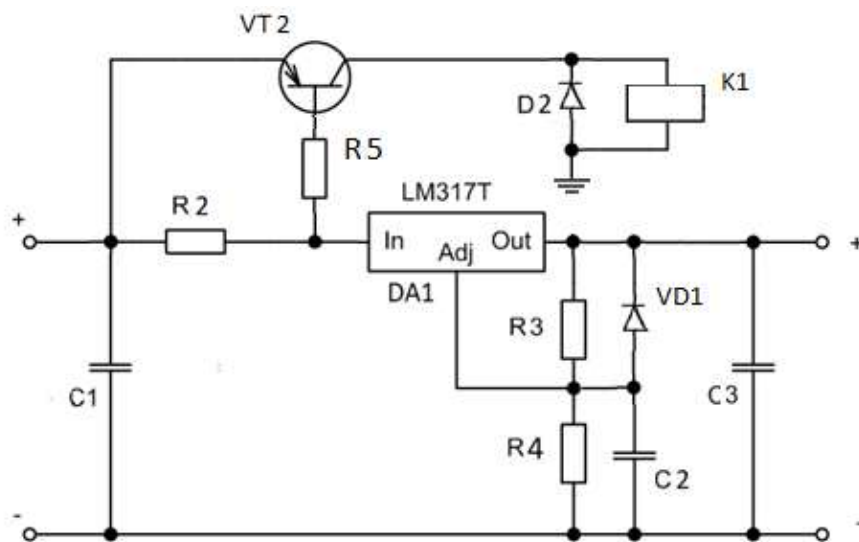


Рис.3.4.

У якості регулятора також використано транзистор ТІР127. Транзистор *VT2* є ідентичний транзистору *VT1* за параметрами, але використовується для керування реле *RL1* системи під'єднання і від'єднання нагрівача. Контакти реле є нормально замкненими і при малому струмі нагрівач під'єднано до сонячної панелі, а при збільшенні струму реле спрацьовує і від'єднує нагрівач. Отже, коли на акумуляторі утримується максимальний струм заряджання, струм на реле достатньо великий для того, щоб контакти були розімкненими і нагрівач не був під'єднаний до джерела живлення. При зменшенні струму заряджання акумулятора, струм колектору *VT2* також зменшується і контакти реле замикаються.

Так як стабілізатор напруги має менший опір за обмотку реле, струм бази буде значно впливати на стабілізатор напруги. Для уникнення цього встановлюємо великий опір на базу. Потрібно врахувати, що номінальний струм обмотки реле – 43.6 мА , отже струм колектора не може бути меншим цього значення для забезпечення спрацювання реле. Якщо струм колектора – 100 мА , тоді струм бази:

$$I_b = \frac{I_k}{h_{FE}} = \frac{100\text{ мА}}{600} = 0.00016\text{ А} = 0.16\text{ мА}$$

Тоді опір, що обмежує струм бази:

					ДС51.510.101.001.ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$R_5 = \frac{U_{be}}{I_6} = 0.7B / 0.16mA = 4375Om$$

Найближчий реальний резистор – резистор групи E24 номіналом 4300 Ом .

Система під'єднання акумулятора

Система під'єднання акумулятора показана на рис.3.5.

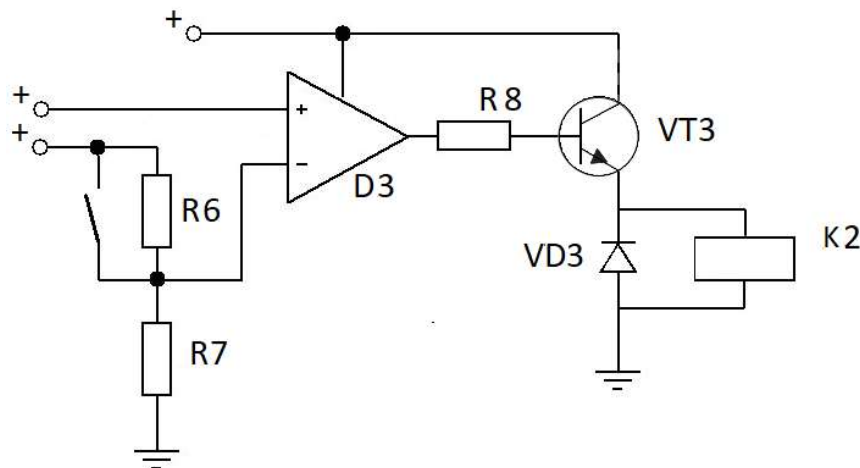


Рис.3.5.

Основою системи є компаратор - пристрій для порівняння двох рівнів напруг. Принцип роботи компаратора показано на рис. Компаратор генерує сигнал високого рівня, якщо напруга на неінвертувальному вході більша за напругу на інвертувальному вході. Цей пристрій використано для індикації заряду акумулятора та для керування реле системи від'єднання та під'єднання акумулятора.

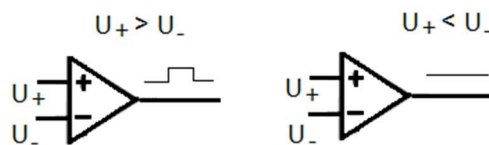


Рис.3.6. Принцип роботи компаратора

Транзистор – BD139 NPN структури. При перевищенні напруги інвертувального входу за напругу неінвертувального входу на базу транзистора подається струм обмежений резистором R8. Якщо струм

колектора прийняти за 100 мА , то при мінімальному коефіцієнті підсилення транзистора – 40 , струм бази буде дорівнювати:

$$I_{\text{б}} = \frac{I_{\text{к}}}{h_{\text{FE}}} = 100\text{ мА} / 40 = 0.0025\text{ А} = 2.5\text{ мА}$$

Тоді при максимальній напрузі:

$$R_8 = \frac{U_{\text{кб}}}{I_{\text{б}}} = 22.9\text{ В} / 2.5\text{ мА} = 9160\text{ Ом}$$

Найближчий реальний номінал – 9100 Ом , резистор типу E24.

Резистори $R6$ і $R8$ утворюють дільник напруги, що зменшує напругу стабілізатора для забезпечення нижньої граничної напруги акумулятора. При повному заряджанні акумулятора напруга на неінвертувальному вході компаратора $U3$ стає більшою за напругу на інвертувальному вході і на виході компаратора встановлюється високий рівень, транзистор $VT3$ відкривається і його емітерний струм перемикає контакти реле $RL2$. Реле $RL2$ є подвійним і впливає одразу на три ключа. Одна пара контактів зменшує опорну напругу компаратора $U3$ за допомогою дільника напруги, а інша пара контактів від'єднує акумулятор від основної схеми. Так як напруга на інвертувальному вході $U3$ стала меншою, високий рівень на виході компаратора буде триматися ще деякий час, поки акумулятор не розрядиться до напруги на інвертувальному вході. Коли акумулятор достатньо розрядиться, на виході $U3$ встановиться низький рівень, реле спрацює і акумулятор знову почне заряджатися. Таким чином при достатній потужності сонячної панелі акумулятор буде працювати у буферному режимі.

Візьмемо $R7 = 12000\text{ Ом}$. Коли акумулятор заряджається, до інвертувального входу під'єднано лише $R7$ і максимальна напруга на ньому, а отже і на інвертувальному вході становить 13.7 В . Після перемикання контактів реле на інвертувальний вхід падає напруга з дільника напруги. Розрахуємо резистор $R6$, якщо напруга на інвертувальному вході становить 13 В .

					ДС51.510.101.001.ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$U_{R7} = \frac{U_{out} \cdot R_7}{R_7 + R_6} \quad (3.1)$$

$$R_6 = \frac{U_{out} \cdot R_7}{U_{R7}} - R_7 = \frac{13.7B \cdot 12000Om}{13B} - 12000Om = 645Om$$

Найближчий реальний резистор – резистор опору 620 Ом типу E24.

Система індикації стану акумулятора

Система індикації стану заряду (рис. 3.7) також виконана на компараторі, що порівнює напругу акумулятора з напругою стабілізатора.

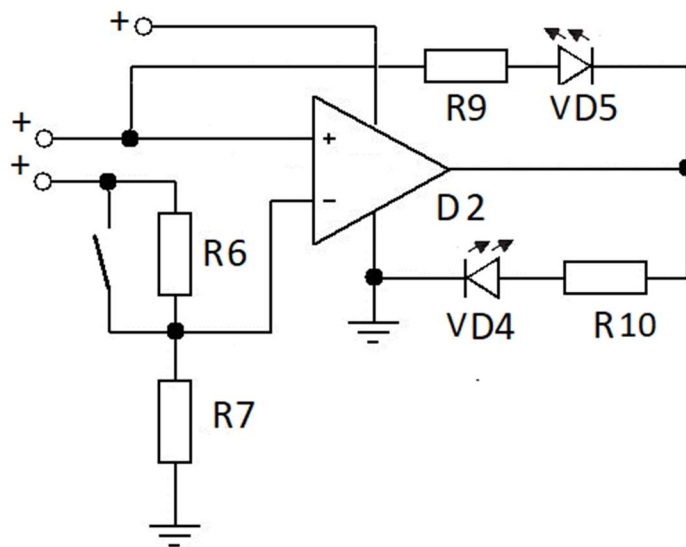


Рис.3.7.

Колір свічення світлодіода *VD5* – червоний, *VD4* – зелений. На світлодіод *VD5* подається напруга акумулятора, що збільшується при його заряджанні, тому яскравість світлодіода збільшується пропорційно заряджанню акумулятора. На неінвертувальний вхід компаратора подається напруга акумулятора, тобто максимальна напруга, що подається на світлодіод - 13.8 В.

Коли напруга на інвертувальному вході компаратора стає більшою за напругу на неінвертувальному вході, на виході компаратора встановлюється високий рівень і потенціал на катоді світлодіода *VD5* стає більшим за

потенціал на аноді, тому світлодіод гасне. Так як потенціал на аноді світлодіода $VD4$ став вищим за потенціал на катоді, світлодіод загоряється і свідчить про те, що акумулятор заряджений.

Резистори $R9$ і $R10$ обмежують струм світлодіодів. Оберемо червоний і зелений світлодіоди, для яких номінальний струм – 30 мА . Отже:

$$R_9 = R_{10} = \frac{U_A}{I_{LED}} = 13.8\text{В} / 0.03\text{А} = 460\text{Ом}$$

Найближчий реальний номінал – 470 Ом .

Кінцева принципова схема заряду акумулятора від сонячної панелі з контролером заряду і баластним навантаженням представлена на рис.3.8.

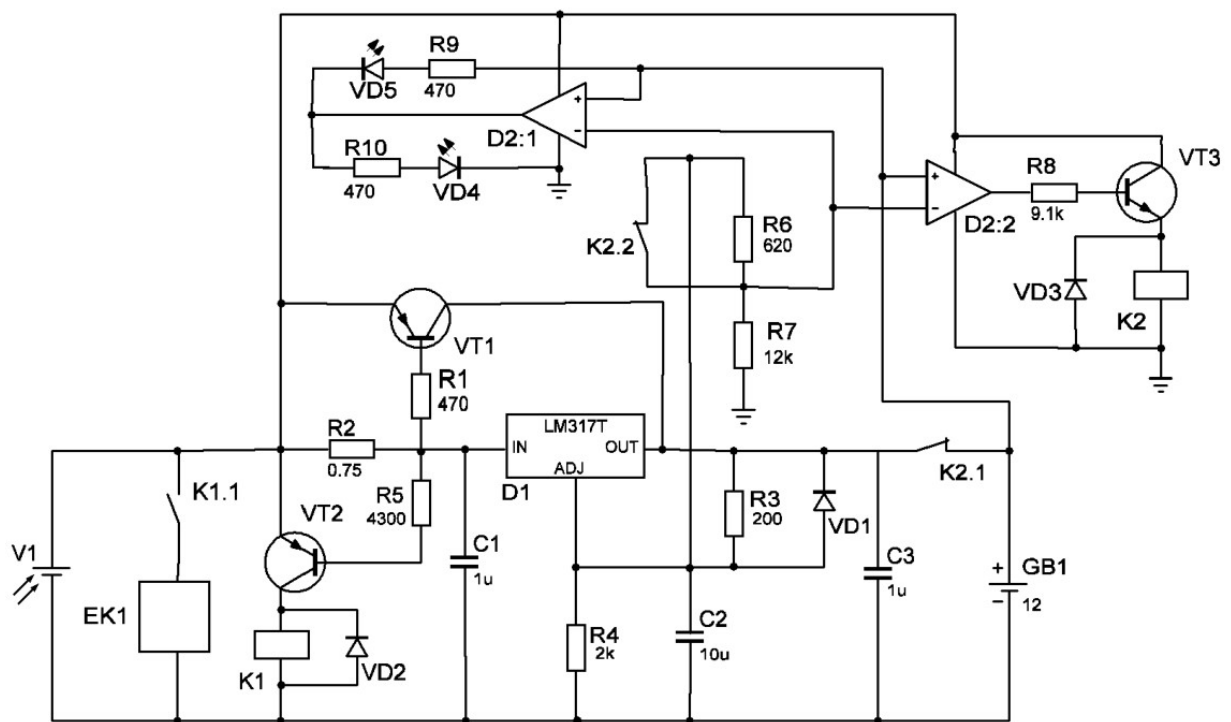


Рис.3.8.

Джерелом живлення є сонячна панель. Позначення на схемі – $V1$.

Позначення акумулятора на схемі – $GB1$.

Як видно, більшість елементів схеми є дискретними, отже вони не мають великого розкиду параметрів відносно розрахункових, можуть бути легко замінені, є дешевими. Дану схему можливо розрахувати майже для будь-якого

аккумулятора. Вихідна напруга стабілізатора напруги LM317T може становити від 1.25 до 37 В, отже аккумулятор може бути замінений на аккумулятор як меншої так і більшої ємності. Струм заряду регулюється транзистором VT_1 . Для досягнення великого струму заряду – у десятки ампер – паралельно цьому транзистору можна підключити додаткові транзистори. Рівень напруги, при досягненні якого при розряджанні аккумулятор знову підключається до схеми, може бути змінений шляхом заміни резисторів R6 і R7. Схема може бути підключена до іншого джерела живлення.

					ДС51.510.101.001.ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Існує велика кількість схемних реалізацій пристроїв контролю заряду акумулятора від різних джерел живлення. Характеристики відновлювальних джерел живлення сильно залежать від природних умов і це потрібно враховувати при проектуванні системи контролю заряду акумулятора. В даній роботі представлена схема, у якій враховані основні особливості роботи сонячної панелі:

- зміна потужності сонячної панелі протягом часу.

Через те, що потужність сонячної панелі змінюється протягом часу, в схемі застосовано стабілізатор напруги. Він понижує вхідну напругу, тому напруга сонячної панелі повинна бути більша за напругу зарядженого акумулятора;

- генерування енергії лише у денний час.

Бажано, щоб повністю розряджений акумулятор встиг повністю зарядитися протягом одного сонячного дня. Тому регулятор струму і стабілізатор напруги були підібрані таким чином, щоб заряджати акумулятор напругою достатнього рівня та максимальним можливим зарядним струмом. Також представлена схема при достатньому рівні освітлення панелі забезпечує буферний режим роботи акумулятора, тобто підтримання його ємності приблизно на одному рівні, що запобігає глибокому розряджанню акумулятора та забезпечує користувача повністю зарядженим вторинним джерелом живлення при зменшенні рівня освітлення;

- генерування енергії при зарядженому акумуляторі.

Коли акумулятор майже заряджений, він починає брати від джерела менше струму, але при достатньому рівні освітлення, сонячна панель здатна генерувати більший струм, ніж потребує майже заряджений акумулятор, тому у схемі використано баластне навантаження, яке живиться від сонячної панелі при зменшенні потреб акумулятора.

					ДС51.510.101.001.ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Berland B., Photovoltaic techonologies beyong the horizon: optical rectenna solar cell, National renewable energy laboratory, 2002. NREL/SR-520-33263
2. Циолковский К. Э., Технологии возобновляемой энергетики, НПО «СОДИС». Москва, 2009.
3. Гаврилко П.П., Чорний Р.С., Шевчук Я.В., Розвиток та впровадження сонячної енергетики в домогосподарства України, International Scientific Journal.
4. Жуйков В.Я., Рогаль В.В., Будьоний О.В., Енергетична електроніка, НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», 2008.
5. Электричний аккумулятор. [Электронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: https://www.wikizero.com/uk/Електричний_акумулятор
6. Хрусталеv Д.А., Аккумуляторы – М.: Изумруд, 2003 – 224 с.: ил.
7. P.Manimekalai, R.Harikumar, S.Raghavan, An Overview of Batteries for Photovoltaic (PV) Systems, International Journal of Computer Applications, Volume 82 – No 12, 2013.
8. Типы аккумуляторных батарей [Электронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <https://best-energy.com.ua/support/battery/414-vidy-i-tipy-akkumulyatornykh-batarej-v-podrobnostyakh#battery-info-Lead-Acid-type>
9. Carolyn Roos, Solar Electric System Design, Operation and Installation An Overview for Builders in the Pacific Northwest, WSUEEP09-013, 2009.
10. Weixiang Shen, Thanh Tu Vo, Ajay Kapoor, Charging Algorithms of Lithium Ion Batteries: an Overview , 2012 7th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)
11. Charging Nickel-cadmium. [Электронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <https://batteryuniversity.com/>

					ДС51.510.101.001.ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

12. Shaw R., Battery chargers - what you need to know. [Электронный ресурс]. Режим доступа до ресурсу: <https://www.which.co.uk/reviews/rechargeable-batteries/article/battery-chargers-what-you-need-to-know>

13. What everyone should know about Battery Chargers. [Электронный ресурс]. Режим доступа до ресурсу:

https://batteryuniversity.com/learn/article/what_everyone_should_know_about_battery_chargers

14. Battery Chargers and Charging Methods. [Электронный ресурс]. Режим доступа до ресурсу: <https://www.mpoweruk.com/chargers.htm>

15. Battery charging basics & charge algorithm fundamental oct 2015 [Электронный ресурс]. Режим доступа до ресурсу: <http://www.batterytender.com/Battery-Basics>

16. Battery charging tutorial [Электронный ресурс] Режим доступа до ресурсу: <http://www.chargingchargers.com/tutorials/charging.html>

17. Battery charging basics & charge algorithm fundamental, april 2012 [Электронный ресурс]. Режим доступа до ресурсу: <https://www.nys-arecs.org/charging.pdf>

18. Battery Charging - Texas Instruments [Электронный ресурс] Режим доступа до ресурсу: <http://www.ti.com/lit/an/snva557/snva557.pdf>

19. Battery charger basics [Электронный ресурс]. Режим доступа до ресурсу: <https://chargetek.com/basic-information.html>

19. Шелестов И.П., Радиолюбителям: полезные схемы, книга 1, «Солон-Р», Москва, 1998

20. Дьяченко В.Е., Контроллер заряда аккумуляторной батареи от солнечной панели, Донбасский Государственный Технический Университет, 2015.

21. А.Я. Глиberman, А.К. Зайцева, Кремневые солнечные батареи: Учебное пособие - Госенергоатомиздат., 1961.-74с.

					ДС51.510.101.001.ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

22. Бутько В.І., Сучасні технологічні процеси, обладнання та устаткування фотоелектричного перетворення сонячної енергії, ЮНІДО, Київ, 2015 .

23. Расчет производительности солнечных станций. [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <http://teplodom.net.ua/solnechnye-elektrostantsii/etapy-proektirovaniya-i-stroitelstva-solnechnyh-elektrostantsij/raschet-proizvoditelnosti-solnechnyh-stantsij/>

24. Charles A. O., Edeko F.O., Design and implementation of a solar charge controller with variable output, Journal of electrical and electronic engineering vol 12, no 2, November 2015

25. James P. Dunlop, Batteries and charge control in stand-alone photovoltaic systems fundamentals and application, Florida Solar Energy Center, January 15, 1997

26. Байерс Т. 20 конструкции с солнечными элементами: Пер. с англ. -М.: Мир, 1988.- 197с.

27. Андреев В.М., Грилихес В.А., Румянцев В.Д. Фотоэлектрическое преобразование концентрированного солнечного излучения. - Л.: Наука, 1989. -310с.

					ДС51.510.101.001.ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Поз.	Найменування	Кіл.	Примітки
<u>Конденсатори</u>			
C1,C3	Конденсатор: PPS; 1мкФ ±5%; 30В AC,50В DC	2	
C2	Конденсатор: PPS; 10мкФ ±10%;63В AC,100В DC	1	
<u>Мікросхеми</u>			
D1	LM317T; Стабілізатор напруги 1,2÷37В; 1,5А; TO220	1	
D2:1,D2:2	LM358; Операційний підсилювач; 1,1МГц; 3÷30В; 2 канали: SO8	1	
<u>Елементи різні</u>			
EK1	ТЕН 12 В, 120 Вт	1	
<u>Генератори, джерела живлення</u>			
GB1	Акумулятор ES20-12G, 12 В, 20 А·год	1	
<u>Реле, контактори, пускачі</u>			
K1	Реле: електромагнітне; SPST-NO; 12В DC; 30А; Т90	1	
K2	Реле: електромагнітне; DPDT; 12В DC; 8А/250ВАС; 8А/30ВDC	1	
<u>Резистори</u>			
R1	Резистор: metal film; THT; 470Ом; 0,4Вт; ±1%	1	
R2	Резистор: дріт'яний; керамічний; 750мОм; 5Вт; ±5%	1	
R3	Резистор: metal film; THT; 200Ом; 0,4Вт; ±1%	1	
R4	Резистор: metal film; THT; 2кОм; 0,4Вт; ±1%	1	
R5	Резистор: metal film; THT; 4,3кОм; 0,4Вт; ±1%	1	
R6	Резистор: power metal; THT; 620Ом; 1Вт; ±5%	1	
R7	Резистор: metal film; THT; 12кОм; 0,4Вт; ±1%	1	
R8	Резистор: metal film; THT; 9,1кОм; 0,25Вт; ±0,1%;	1	
R9,R10	Резистор: metal oxide; THT; 470Ом; 1Вт; ±5%	2	

					ДС51.510.101.001 ОП				
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Контролер заряду акумулятора від фотобатареї	Літ.	Аркуш	Аркушів	
Розроб.		Бахмат Є.Л.							
Перевір.		Ромашко В.Я.					1	2	
Т. контр.						КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФЕЛ гр. ДС-51			
Н. контр.		Батрак Л.М.							
Затверд.		Ромашко В.Я.							
					Опис проекту				

[illegible]

ABSTRACT

Worldwide energy demands have increased by 40% over the last 20 years. 1 Although the deleterious effects of hydrocarbon-based power are becoming increasingly apparent, more than 85% of the world's power is still generated by combustion of fossil fuels. 1 Clean renewable alternative energy sources are required to meet the demands, with direct solar-conversion devices as leading candidates. The worldwide market for conventional photovoltaics (PV) has increased at an annual rate of 20% over the last five years, and industry estimates suggest as much as 18 billion watts per year could ship by 2020. 1 To meet the increased demands for solar-conversion technologies, dramatic improvements are required in state-of-the-art PV technologies. Efficiency improvements and cost/complexity reduction are the main issues that need to be addressed to meet these goals. Traditional p-n junction solar cells are the most mature of the solar-energy-harvesting technologies. Although great improvements have been made in the last 20 years, energy absorption, carrier generation, and collection are all a function of the materials chemistry and corresponding electronic properties (i.e., bandgap). As a quantum device, the efficiency of PV is a function of, and therefore, ultimately fundamentally limited by, the bandgap and the match of the bandgap to the solar spectrum. For single-junction cells, this sets an upper efficiency limit of ~30%. 2 Even with complex multi-junction designs, the theoretical efficiency plateaus around 55% without excessive concentration of the incident radiation. 3 Current state-of-the-art solar cells are ~20% efficient for single cells and ~30% efficient for multijunction systems. 4 In the long term, the PV industry will require newer, higher efficiency technologies to improve performance and to meet the increasing demands of the solar power market.

Photovoltaic solar systems can be divided into two basic categories – grid connected and off- grid (also called stand alone or isolated) solar systems. The grid connected systems feed the electricity produced by solar panels to the grid using an inverter. When the electricity is needed during night or periods with little sunlight, the energy is taken back from the grid. In isolated systems, the excess electricity is

usually stored in batteries during the day and batteries are used to power the appliances in times when photovoltaic panels do not produce enough energy. Solar regulators (also known as charge controllers) play an important role in isolated solar systems. Their goal is to ensure the batteries are working optimally, mainly to prevent overcharging (by disconnecting solar panels, when batteries are full) and to prevent too deep discharge (by disconnecting the load when necessary) [Cook,1998]. Battery lifetime reduces drastically due to overcharging and deep discharging. Battery is a very expensive component of a Solar Home System; hence it is necessary to protect batteries from being over charged or deeply discharged. In this regard, a charge controller plays a vital role to protect the battery.

The simplest, most reliable, and least expensive configuration does not have battery back-up. Without batteries, a grid-connected PV system will shut down when a utility power outage occurs. Battery back-up maintains power to some or all of the electric equipment, such as lighting, refrigeration, or fans, even when a utility power outage occurs. A grid-connected system may also have generator back-up if the facility cannot tolerate power outages.

Batteries store direct current electrical energy for later use. This energy storage comes at a cost, however, since batteries reduce the efficiency and output of the PV system, typically by about 10 percent for lead-acid batteries. Batteries also increase the complexity and cost of the system. A charge controller, sometimes referred to as a photovoltaic controller or battery charger, is only necessary in systems with battery back-up. The primary function of a charge controller is to prevent overcharging of the batteries. Most also include a low-voltage disconnect that prevents over-discharging batteries. In addition, charge controllers prevent charge from draining back to solar modules at night. Some modern charge controllers incorporate maximum power point tracking, which optimizes the PV array's output, increasing the energy it produces.

By type of electrolyte batteries are divided into:

- Lead-acid batteries
- Alkaline batteries

- Lithium batteries

Each battery has such characteristics as nominal voltage and capacity.

Nominal voltage is called the voltage on the battery terminals in working order. It can be equal to 3 V, 6 V, 12 V, 24 V or more.

The capacity of the battery is presented in ampere-hours. It defines a reserve of energy that can energize a load with a certain current strength for a certain time.

For systems connected to the network, batteries typically have capacities to operate over relatively short periods of time, on average 8 hours. The capacity may, however, vary depending on the specific needs of the facility and the duration of the expected power outages.

Energy Capacity is the energy accumulated in a fully charged battery; is defined in watt-hours:

These characteristics directly depend on the nature of the load when discharging the battery and the requirements for charging the battery.

So, when choosing a battery, rely on its main characteristics: voltage and capacity, and the type of battery, because the different types of batteries require different working conditions. The operating conditions are determined by the power source of the battery and the load for which the battery has a power supply.

The first type is most often used in photovoltaic system. Each battery type is charged in a different way.

Charging the battery is a process of accumulating battery power. Batteries store a huge amount of energy due to their electrochemical composition. This energy comes from the battery to the load during the discharge of the battery, to the battery - during charging. Charging method «Constant voltage / constant current (CVCC)» is most used (fig.1).

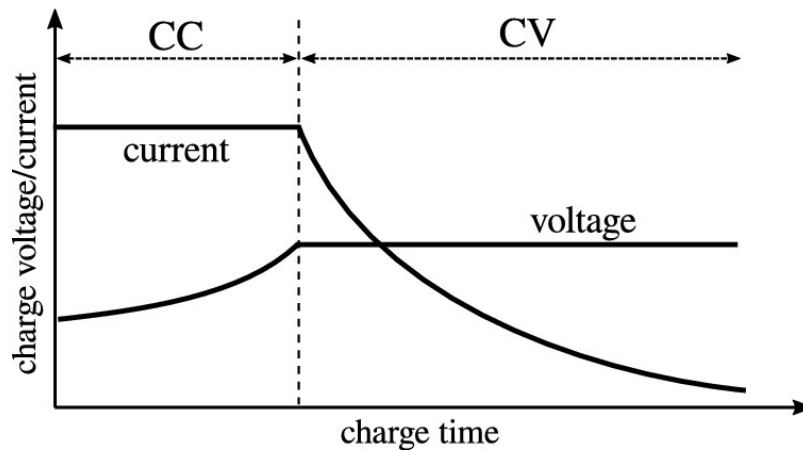


Fig. 1. Battery charging process

Constant voltage / constant current (CVCC) is a combination of two methods: constant current and constant voltage. The charger limits the amount of current to a pre-set level until the battery reaches a pre-set voltage level. The current then reduces as the battery becomes fully charged. This system allows fast charging without the risk of over-charging and is suitable for any battery types.

To implement this method, the circuit must have a:

- current regulator
- voltage regulator

The purpose of a current regulator is to provide a constant current regardless of changes in the input voltage or load current. This is realized due to the nonlinear voltage-current curve of the circuit element.

Voltage regulator, any electrical or electronic device that maintains the voltage of a power source within acceptable limits. The voltage regulator is needed to keep voltages within the prescribed range that can be tolerated by the electrical equipment using that voltage.

This is especially important when using a solar panel, whose voltage and current are not constant (fig 2).

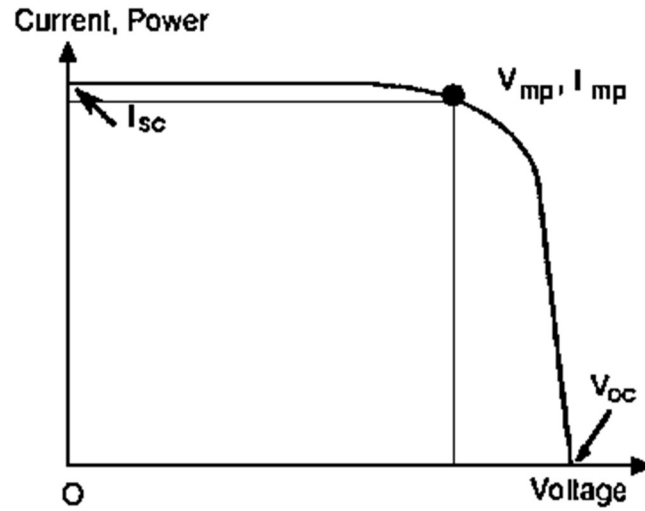


Fig 2. Photovoltaic current-voltage curve

This method can be used for any power source, but in the case of a solar battery it is necessary to take into account its dependence on weather conditions. Fig. 3(a), (b), show the simulated curves (current-voltage and power-current) of the solar array. Solar array characteristics are nonlinear as shown in Fig. 3 and are affected by the solar radiation, temperature and load condition.

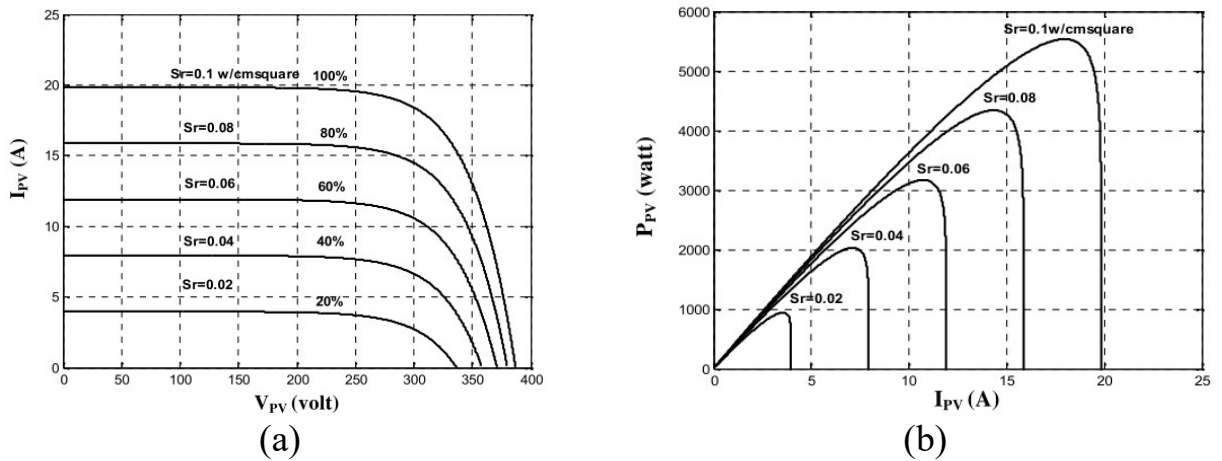


Fig. 3. The simulated curves of the solar array: (a) current-voltage and (b) power-current

The characteristics of renewable power sources depend heavily on natural conditions and this should be taken into account when designing the battery charge control system.

In this paper, a diagram of a charge controller, which implements the method of "constant voltage / constant current" and takes into account the basic characteristics of the solar panel, is presented:

- change the power of the solar panel over time.

Because the solar panel power changes over time, the scheme applied voltage. It reduces input voltage, so the voltage of solar panels for their homes to be charging the battery voltage;

- generation of energy only during daylight hours

It is desirable to surpass the retail battery to have time to charge over one sunny day. Therefore, control of current and voltage were chosen so as to charge the battery enough voltage level and the maximum possible charging current. Also, the scheme is presented with the light levels of the panels supporting the battery mode, that is, maintaining its capacity at one level, which prevents deep deployment of the battery and restricts the user by means of an additional power source with dimming of the level of illumination;

- Generate energy when the battery is charged.

When the battery is charged, it starts to take less current from the source, but sufficient light, solar panel able to generate more current than the needs of almost charged battery, so it will be used to load, which is powered by solar panels while reducing power requirements.